

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN RESSOURCES RENOUVELABLES

par
Anne-Lise Fortin

Régime alimentaire et
principaux facteurs influençant l'alimentation
des jeunes éperlans arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) du lac Saint-Jean

Décembre 2002



Mise en garde/Advice

Afin de rendre accessible au plus grand nombre le résultat des travaux de recherche menés par ses étudiants gradués et dans l'esprit des règles qui régissent le dépôt et la diffusion des mémoires et thèses produits dans cette Institution, **l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** est fière de rendre accessible une version complète et gratuite de cette œuvre.

Motivated by a desire to make the results of its graduate students' research accessible to all, and in accordance with the rules governing the acceptance and diffusion of dissertations and theses in this Institution, the **Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** is proud to make a complete version of this work available at no cost to the reader.

L'auteur conserve néanmoins la propriété du droit d'auteur qui protège ce mémoire ou cette thèse. Ni le mémoire ou la thèse ni des extraits substantiels de ceux-ci ne peuvent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

The author retains ownership of the copyright of this dissertation or thesis. Neither the dissertation or thesis, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

RÉSUMÉ

La pêche sportive à la ouananiche (*Salmo salar*) du lac Saint-Jean est une activité d'importance économique et culturelle majeure pour la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Or, on observe des fluctuations interannuelles d'abondance et de croissance très importantes de cette ressource. Ces fluctuations seraient expliquées par les variations dans l'abondance de sa principale proie, l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*). Toutefois, les connaissances sur les facteurs pouvant influencer le recrutement de l'éperlan du lac Saint-Jean sont encore incomplètes, particulièrement en ce qui concerne leur succès d'alimentation lors de leur première saison de croissance.

Pour cette étude, nous avions comme objectifs de décrire le régime alimentaire des jeunes éperlans arc-en-ciel du lac Saint-Jean, de déterminer s'ils font une sélection de leurs proies et d'étudier certains facteurs pouvant influencer leur succès d'alimentation, tels la température des eaux de surface, la date et la densité de proies dans le milieu. Ainsi, nous avons échantillonné 10 stations pélagiques et 15 stations riveraines au lac Saint-Jean, de mai à septembre en 1998 et 1999, afin de capturer des jeunes éperlans et leurs proies zooplanctoniques. L'identification et le dénombrement des organismes zooplanctoniques ont été effectués dans les tractus digestifs des éperlans et dans le lac. De plus, les éperlans arc-en-ciel ont été classés selon des critères morphologiques, en dix stades de développement, de A à J. Une larve du stade A ou B étant un éperlan de moins d'une semaine ayant un sac vitellin et un éperlan du stade I ou J, un pré-juvénile âgé de deux et trois mois respectivement.

Selon nos résultats, les larves d'éperlan arc-en-ciel débutent leur alimentation exogène, de manière significative, au stade C, une fois que leur sac vitellin est presque complètement résorbé. Le pourcentage d'incidence d'alimentation des éperlans augmente en fonction des stades de développement, tout comme le nombre moyen de proies. Chez les pré-juvéniles (stades I et J), plus de 98% des individus sont parasités par le cestode *Proteocephalus*. Nous avons observé pour les deux années de l'étude, soit 1998 et 1999, que les éperlans sélectionnent particulièrement quatre espèces d'organismes zooplanctoniques; le cladocère *Bosmina longirostris*, les nauplii de copépodes et les copépodes *Diaptomus minutus* et *Cyclops scutifer*. Durant les premières semaines de leur vie, la diète des larves d'éperlan (stades C, D et E) est composée à 75% de nauplii de copépodes et du copépode *C. scutifer*. Pour les stades F et G, ce sont les copépodes *D. minutus* et *C. scutifer* qui représentent plus de 87% de leur régime alimentaire, tandis que les deux principales proies des juvéniles sont le cladocère *B. longirostris* et le copépode *D. minutus*.

La sélection des proies varie en fonction de la taille des éperlans. Généralement, plus ces derniers grandissent, plus ils sélectionnent des proies de grande taille. De plus, pour des proies de taille équivalente, les éperlans favorisent certaines espèces zooplanctoniques.

Les larves capturées le jour, durant le premier mois de leur vie, montrent un succès d'alimentation constant, à l'exception de celles capturées à 16:00 h, où il y a une baisse du succès. Les juvéniles capturés la nuit ont un succès d'alimentation qui diminue en fonction de l'avancement de la nuit. Nous n'avons trouvé aucune relation entre le succès d'alimentation et la température des eaux de surface ainsi qu'avec les dates de capture. Nous avons déterminé que le succès d'alimentation est plus élevé aux stations pélagiques que riveraines pour les deux années. On constate en 1998 que les quatre principales proies sont plus abondantes aux stations pélagiques tandis que les jeunes éperlans sont plus abondants aux stations riveraines. Également, on observe qu'il y a plus d'éperlans en 1998 qu'en 1999, tandis qu'on constate l'inverse dans le nombre des proies préférées des éperlans. Les résultats démontrent que la densité minimale de proies requise dans le milieu doit être de 3 ind. L^{-1} pour les larves de stade C et de 2 ind. L^{-1} pour les larves de stade D, afin de garantir un succès d'alimentation positif à ces larves d'éperlan. Les éperlans des stades de développement C, D et E ont connu un meilleur succès d'alimentation en 1998, comparativement à 1999. Nos résultats suggèrent que l'alimentation des jeunes éperlans arc-en-ciel est un facteur important qui influence le recrutement de ce poisson fourrage au lac Saint-Jean.

REMERCIEMENTS

Je remercie mon directeur, M. Raynald Côté pour m'avoir permis de réaliser ma maîtrise en ressources renouvelables. Je remercie également mon codirecteur, M. Michel Legault. Il a rendu possible cette étude par son enthousiasme et son intérêt face à ce projet. Je remercie le FCAR et le CLAP pour leur soutien financier.

Merci à tous ceux qui m'ont aidée lors de l'échantillonnage; aux gens de la FAPAQ: Bruno Baillargeon, Daniel Jean, Gilles Mercier, Laurier Coulombe, Omer Gauthier et Phillippe Thibault et aux gens de l'UQAC: Martin Bertrand et Patrice Desgagné. Merci aux gens qui m'ont aidée pour l'analyse des échantillons: Véronique Pedneault, je te remercie également d'être une amie merveilleuse, et Daniel Ratté.

Un merci particulier à Karine Gagnon, avec qui j'ai partagé et échangé mes résultats, qui m'a été d'un très grand support pour l'analyse des échantillons et des résultats et avec qui j'ai eu de nombreuses discussions professionnelles et salutaires au moral. Également, un merci particulier à Pascal Sirois, qui m'a été d'un grand support pour le traitement de mes données et la concision de mon travail, qui a apporté beaucoup à ma maîtrise.

Je tiens également à remercier tous mes amis, qui ont fait de mes années de maîtrise les plus agréables dans ma carrière d'étudiante: Christophe Fortin, Cynthia Tremblay, Annick Robertson, Marie-Pascale Munger, Dominique Pilote, Jean-François Lambert, Cinthia Renald, Martin Bertrand, Jean-Michel Gastonguay, Luc Pilote, Serge Lavoie, Guillaume Dallaire, Marie-Noëlle Fortin, Wivecke Dahl, Sophie Hardy, Luc Bouchard et Marie-Hélène Bouchard. Un gros merci à mes parents et frérots pour être toujours là et aussi à toi, Cynthia. Merci à tous les gens qui ont passé au laboratoire d'Écologie aquatique, avec qui j'ai souvent discuté et à qui j'ai demandé leur avis sur moult choses. Un gros merci à Geneviève Tremblay pour m'avoir donné son opinion sur un tas de trucs et écouté lors de ma rédaction. Finalement, merci à tous ceux et celles qui m'ont aidée de près ou de loin dans la réalisation de ma maîtrise.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	i
REMERCIEMENTS	iii
TABLE DES MATIÈRES	v
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES TABLEAUX	x
LISTE DES ANNEXES	xi
CHAPITRE I: INTRODUCTION	1
CHAPITRE II: MATÉRIEL ET MÉTHODES	8
2.1 Site d'étude	9
2.2 Échantillonnage	10
2.2.1 Caractéristiques physiques	11
2.2.2 Zooplancton	12
2.2.3 Éperlan arc-en-ciel	12
2.3 Laboratoire	14
2.3.1 Zooplancton	14
2.3.2 Éperlan arc-en-ciel	14
2.4 Analyse des données	18
2.4.1 Caractéristiques physiques	18
2.4.2 Zooplancton	18
2.4.3 Éperlan arc-en-ciel	20
2.4.3.1 Incidence d'alimentation	20
2.4.3.2 Sélectivité	20
2.4.3.3 Succès d'alimentation	22
2.4.3.4 Succès d'alimentation combiné	24
CHAPITRE III: RÉSULTATS	25
3.1 Caractéristiques physiques	26
3.2 Zooplancton	27
3.2.1 Composition taxinomique et variations saisonnières	27
3.2.2 Abondance et distribution des principales proies de l'éperlan arc-en-ciel	31
3.3 Éperlan arc-en-ciel	34
3.3.1 Abondance et distribution	34
3.3.2 Dates de capture	36
3.3.3 Croissance	37
3.3.4 Alimentation	40
3.3.4.1 Incidence d'alimentation	40
3.3.4.2 Sélectivité	42
3.3.4.3 Succès d'alimentation	53
3.3.4.4 Succès d'alimentation combiné	61
CHAPITRE IV: DISCUSSION	64
4.1 Zooplancton	65
4.1.1 Composition taxinomique et variations saisonnières	65
4.1.2 Abondance et distribution des principales proies de l'éperlan arc-en-ciel	66
4.2 Éperlan arc-en-ciel	69

4.2.1 Abondance et distribution.....	69
4.2.2 Date de capture	70
4.2.3 Croissance.....	71
4.2.4 Alimentation	73
4.2.4.1 Incidence d'alimentation.....	73
4.2.4.2 Sélectivité	74
4.2.4.3 Succès d'alimentation.....	80
4.2.4.4 Succès d'alimentation combiné	84
CHAPITRE V: CONCLUSION	86
RÉFÉRENCES	89
ANNEXES	97

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Situation géographique du lac Saint-Jean au Québec	3
Figure 2. Localisation des stations riveraines (cercles noirs) et pélagiques (triangles blancs) du lac Saint-Jean.....	10
Figure 3: Les neuf stades de développement de l'éperlan arc-en-ciel (<i>Osmerus mordax</i>) selon Cooper (1978).	15
Figure 4: Température moyenne des eaux de surface en 1998 (carrés) et 1999 (cercles noirs), au lac Saint-Jean. Les traits représentent des moyennes mobiles calculées par intervalle de trois jours en 1998 (trait pointillé) et 1999 (trait continu).....	26
Figure 5: Fluctuations saisonnières de l'abondance du zooplancton en 1998 et 1999, au lac Saint-Jean. Les barres verticales représentent l'intervalle de confiance à 95%.	30
Figure 6: Nombre moyen des 4 principales proies des éperlans arc-en-ciel (ind. L ⁻¹) en 1998 et 1999, au lac Saint-Jean. Les barres verticales représentent l'intervalle de confiance à 95%. Les chiffres entre parenthèses correspondent au nombre d'échantillons.	33
Figure 7: Nombre moyen des 4 principales proies des éperlans arc-en-ciel (ind. L ⁻¹) en fonction des stations riveraines et pélagiques en 1998 et 1999, au lac Saint Jean. Les barres verticales représentent l'intervalle de confiance à 95%. Les chiffres entre parenthèses correspondent au nombre d'échantillons.....	33
Figure 8: Nombre moyen d'éperlans arc-en-ciel (1000 m ⁻³) en 1998 et 1999, au lac Saint-Jean. Les barres verticales représentent l'intervalle de confiance à 95%. Les chiffres entre parenthèses correspondent au nombre d'échantillons.....	35
Figure 9: Nombre moyen d'éperlans arc-en-ciel (1000 m ⁻³) en fonction des stations riveraines et pélagiques en 1998 et 1999, au lac Saint Jean. Les barres verticales représentent l'intervalle de confiance à 95%. Les chiffres entre parenthèses correspondent au nombre d'échantillons.....	35
Figure 10: Dates de capture des éperlans arc-en-ciel en fonction de leur stade de développement en 1998 et 1999, au lac Saint-Jean. Les bandes grises correspondent aux dates d'échantillonnages.....	36

Figure 11: Longueur totale moyenne des éperlans arc-en-ciel en fonction de leur stade de développement en 1998 et 1999, au lac Saint-Jean. Les barres verticales représentent l'intervalle de confiance à 95%. Les chiffres entre parenthèses correspondent au nombre d'échantillons. Les lettres minuscules en gras, situées au-dessus des bâtonnets, lorsqu'elles sont différentes, indiquent une différence significative entre les différents stades de développement.	38
Figure 12: Incidence d'alimentation (%) des éperlans arc-en-ciel en fonction de leur stade de développement en 1998 (bâtonnets blancs) et 1999 (bâtonnets noirs), au lac Saint-Jean.....	41
Figure 13: Indice «d'électivité» (E) des éperlans arc-en-ciel, pour leurs principales proies, à différents stades de développement, en 1998 (bâtonnets blancs) et 1999 (bâtonnets noirs), au lac Saint-Jean.....	47
Figure 14: Indice «d'électivité» (E) des éperlans arc-en-ciel selon leur stade de développement pour différentes espèces de copépodes et les nauplii de copépodes en 1998 (carrés blancs) et 1999 (cercles noirs), au lac Saint-Jean. Les longueurs des organismes zooplanctoniques sont tirées de Ward et Whipple (1966) et de Pennak (1978).	50
Figure 15: Indice «d'électivité» (E) des éperlans arc-en-ciel selon leur stade de développement pour différentes espèces de cladocères en 1998 (carrés blancs) et 1999 (cercles noirs), au lac Saint-Jean. Les longueurs des organismes sont tirées de Ward et Whipple (1966) et de Pennak (1978).....	51
Figure 16: Indice «d'électivité» (E) des éperlans arc-en-ciel selon leur stade de développement pour différentes espèces de rotifères et le protozoaire <i>Codonella cratera</i> en 1998 (carrés blancs) et 1999 (cercles noirs), au lac Saint-Jean. Les longueurs des organismes sont tirées de Ward et Whipple (1966) et de Pennak (1978).....	52
Figure 17: Régressions du logarithme du nombre de proies ingérées (a et b) et des résidus de la régression (c et d) des éperlans arc-en-ciel des stades C à J en 1998 et 1999, au lac Saint-Jean.....	54
Figure 18: Succès d'alimentation moyen des éperlans arc-en-ciel en fonction des stations riveraines et pélagiques en 1998 et 1999, au lac Saint-Jean. Les barres verticales représentent l'intervalle de confiance à 95%. Les chiffres entre parenthèses correspondent au nombre d'échantillons.....	55
Figure 19: Succès d'alimentation moyen des éperlans arc-en-ciel en fonction de l'heure en 1998 (carrés blancs, ligne pointillée) et 1999 (cercles noirs, ligne continue), de clarté et de noirceur, au lac Saint-Jean.....	56

Figure 20: Succès d'alimentation moyen des éperlans arc-en-ciel en fonction de la température des eaux de surface (a et b) et de la date (c et d) en 1998 (carrés blancs) et 1999 (cercles noirs), au lac Saint-Jean.....	58
Figure 21: Succès d'alimentation moyen des éperlans arc-en-ciel des stades de développement C, D et E en fonction de la densité des nauplii de copépodes et des <i>Cyclops scutifer</i> (ind. L ⁻¹) en 1998 (cercles blancs) et 1999 (cercles noirs), au lac Saint-Jean.....	60
Figure 22: Régression du logarithme du nombre de proies ingérées (a) et des résidus de la régression (b) des éperlans arc-en-ciel des stades C à J en 1998 (cercles blancs) et 1999 (cercles noirs), au lac Saint-Jean.	62
Figure 23: Succès d'alimentation combiné moyen des éperlans arc-en-ciel en relation avec leur stade de développement en 1998 (bâtonnets blancs) et 1999 (bâtonnets noirs), au lac Saint-Jean. Les barres verticales représentent l'intervalle de confiance à 95%.	63

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Abondance des différentes espèces d'organismes zooplanctoniques retrouvées en 1998 et 1999, au lac Saint-Jean	29
Tableau 2: Longueur totale (LT) moyenne des éperlans arc-en-ciel en fonction de leur stade de développement en 1998 et 1999, au lac Saint-Jean et selon Cooper (1978)	39
Tableau 3: Composition (%) de la diète des éperlans arc-en-ciel, composition (%) du zooplancton dans le milieu et statistiques de nutrition en fonction des stades de développement des éperlans, en 1998 au lac Saint-Jean	44
Tableau 4: Composition (%) de la diète des éperlans arc-en-ciel, composition (%) du zooplancton dans le milieu et statistiques de nutrition en fonction des stades de développement des éperlans, en 1999 au lac Saint-Jean	45
Tableau 5: Test t sur le succès d'alimentation combiné moyen des éperlans arc-en-ciel en 1998 et 1999, au lac Saint-Jean	63

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: Coordonnées géographiques des traits de chalut effectués aux différentes stations pélagiques en 1998 et 1999, au Saint-Jean	99
Annexe 2: Coordonnées géographiques des traits de chalut effectués aux différentes stations riveraines en 1998, au lac Saint-Jean	101
Annexe 3: Coordonnées géographiques des traits de chalut effectués aux différentes stations riveraines en 1999, au lac Saint-Jean	103
Annexe 4: Données brutes de la composition (%) de la diète des éperlans arc-en-ciel, de la composition (%) du zooplancton dans le milieu et des statistiques de nutrition en fonction des stades de développement des éperlans en 1998, au lac Saint-Jean	105
Annexe 5: Données brutes de la composition (%) de la diète des éperlans arc-en-ciel, de la composition (%) du zooplancton dans le milieu et des statistiques de nutrition en fonction des stades de développement des éperlans en 1999, au lac Saint-Jean	107

CHAPITRE I

INTRODUCTION

La région du Saguenay-Lac-Saint-Jean est reconnue pour sa faune aquatique abondante et diversifiée. Parmi l'ensemble des plans d'eau, le lac Saint-Jean (figure 1) et ses tributaires offrent un lieu de choix pour la pêche sportive. Ce lac possède une riche faune piscicole avec la présence de 28 espèces (dont la ouananiche, le doré, le grand brochet, la perchaude, le grand corégone, le cisco de lac, la barbotte brune, les meuniers rouge et noir, la ouitouche, la lotte, l'omisco, le touladi, etc.) (Données non publiées Omer Gauthier FAPAQ). Parmi ces espèces, la plus prisée par les pêcheurs est sans conteste, le saumon d'eau douce, la ouananiche (*Salmo salar*). Cette dernière peut être considérée comme un pilier dans l'économie récréo-touristique régionale. En vertu des données actuelles, il est permis de croire que les eaux du lac Saint-Jean regroupent l'une des plus importantes populations de saumons d'eau douce indigènes de l'Amérique du Nord et même vraisemblablement du monde entier (Legault et Gouin 1985).

Depuis le début du vingtième siècle, les conditions environnementales retrouvées au lac Saint-Jean ont été grandement modifiées dû au développement de la région: l'agriculture et l'élevage, l'exploitation forestière, la construction de barrages et d'usines, la stabilisation des berges, etc. Ces événements, ajoutés à une surexploitation de la ouananiche, au braconnage et à l'introduction de la barbotte brune, ont eu des conséquences désastreuses sur sa population (Legault et Gouin 1985). Celle-ci a connu un déclin important dans les années 80, atteignant un seuil critique en 1985 (Bouchard et Royer 1997).

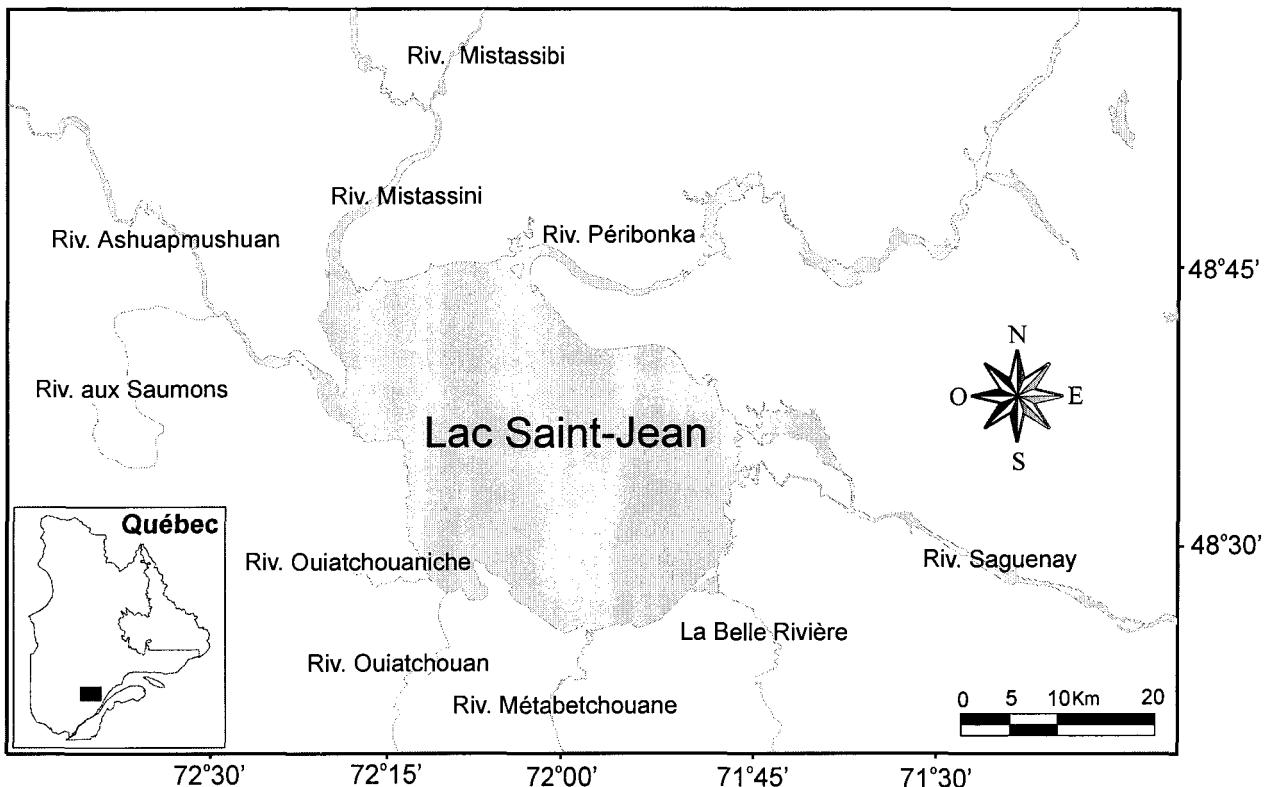


Figure 1. Situation géographique du lac Saint-Jean au Québec

Pour contrer ce phénomène, un programme de restauration a été établi au début de 1986. Ce programme visait la mise en place de mesures réglementaires et l'implantation, en 1990, d'un programme d'ensemencement. Malgré ces mesures, les populations de ouananiches se sont effondrées au début des années 90. Face à cette situation, un programme de recherche a été mis en place en 1995 afin de mieux comprendre les facteurs régissant la productivité de la ouananiche.

Selon Kircheis et Stanley (1981), le saumon d'atlantique d'eau douce dépend presque totalement des éperlans arc-en-ciel pour avoir une bonne croissance. Trois études, réalisées sur l'alimentation de la ouananiche du lac Saint-Jean, ont démontré que 71-80% du volume de son contenu stomacal est composé d'éperlans arc-en-ciel, suivi de différents poissons (10-19%) et d'insectes (8-15%) (Mahy 1976, Nadon 1991, Données non publiées Omer Gauthier FAPAQ 1997-2000). Toutefois, l'importance de l'éperlan dans la diète de ce saumon varierait avec la période de l'année. En effet, il serait moins présent dans le régime alimentaire de la ouananiche en début de saison et deviendrait très important en août (Mahy 1975).

Cela représente un désavantage pour la ouananiche d'avoir l'éperlan arc-en-ciel comme source principale de nourriture. Elle est ainsi dépendante des fluctuations saisonnières de l'éperlan (Kircheis et Stanley 1981, Lachance 1995). Il est donc important de bien connaître la dynamique de population de l'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean afin de maximiser le travail entrepris pour la restauration de la ouananiche.

L'éperlan arc-en-ciel, *Osmerus mordax*, fait partie de la famille des osméridés. On le retrouve dans le bassin côtier de l'Atlantique, depuis le New-Jersey jusqu'au Labrador. En plus des populations anadromes, des populations indigènes dulcicoles sont très répandues, telle celle retrouvée au lac Saint-Jean (Scott et Crossman 1974). Au Québec, l'éperlan d'eau douce du lac Saint-Jean est situé dans les limites nord (48^{ième} parallèle) de sa distribution (Delisle et Veilleux 1969). Quelques autres populations sont retrouvées sur

la Côte Nord, au 50^{ième} parallèle, et en Gaspésie, au 49^{ième} parallèle, mais la majorité des populations d'éperlan se situent sous le 48^{ième} parallèle (Delisle et Veilleux 1969).

L'éperlan est un poisson au corps allongé et mince de couleur argentée, vert pâle sur le dos et avec des reflets irisés sur les flancs. Sa longueur varie habituellement entre 18 et 20 cm. Il possède une nageoire adipeuse et sa grande bouche est munie de dents bien développées. Les populations dulcicoles fraient dans les petits cours d'eau ou encore près des rives des lacs. Le frai a lieu au cours de la nuit, généralement en mai et parfois en juin (Bernatchez et Giroux 1991). Le déplacement des éperlans vers les sites de reproduction s'effectue avec le changement de la température de l'eau, lorsque celle-ci atteint 8,9 °C (Scott et Crossman 1974). Les femelles pondent en moyenne entre 8 000 et 69 000 œufs adhésifs qui se fixent sur le substrat présent. Ils mettent environ 7 à 10 jours avant d'éclore (Bernatchez et Giroux 1991). Les larves dévalent alors immédiatement les rivières vers le lac, où elles sont vulnérables à la prédation (Kircheis et Stanley 1981). L'éperlan peut frayer dès l'âge de deux ans. Il est carnivore et se nourrit notamment d'invertébrés et de poissons (Bernatchez et Giroux 1991).

Puisque l'importance de l'éperlan arc-en-ciel comme poisson fourrage pour la ouananiche n'est plus à démontrer, il est primordial de connaître les facteurs qui influencent le recrutement (l'apport de nouveaux poissons au sein de la population) des éperlans, pour être en mesure de bien gérer les stocks de ouananiches. Les facteurs susceptibles d'avoir un impact sur le recrutement de l'éperlan pourraient être génétiques, abiotiques (le climat et

l'hydrologie) et biotiques (la préation, le cannibalisme, le parasitisme et l'alimentation).

Dans la présente étude, nous nous sommes attardés à l'alimentation des jeunes éperlans et aux facteurs qui peuvent l'inflencer. Il existe plusieurs hypothèses, reliées à l'alimentation des larves de poisson, permettant d'expliquer les fluctuations du recrutement. Trois hypothèses sont couramment citées: la première hypothèse est celle de «la Période critique» (Hjort 1914). Cette hypothèse affirme que le succès de recrutement est déterminé lors de la période pendant laquelle la larve passe de la nutrition endogène (les réserves vitellines), à la nutrition exogène (la capture de proies dans le milieu). Des proies abondantes lors de cette «période critique» assurera un bon recrutement.

La seconde hypothèse est appelée «Match-mismatch» (Cushing 1975). Selon cette hypothèse, le succès de recrutement est déterminé par la synchronisation entre l'alimentation exogène des larves et l'abondance de la nourriture. En d'autres mots, la période de production des larves doit coïncider avec la période de production de ses proies. Cette synchronisation influencera le succès d'alimentation et conséquemment la survie de la cohorte.

La troisième hypothèse se nomme «l'Océan stable» (Lasker 1975, 1978). D'après cette hypothèse, la densité de proies d'un plan d'eau est en moyenne trop faible pour assurer une alimentation suffisante pour la survie des larves et doit être plus concentrée à certains endroits. Si cette structure est perturbée par un brassage vertical, dû entre autres aux tempêtes, la bonne densité et le bon type de proies sont dispersés. Ainsi, les larves

risquent de mourir de faim. Cette dernière hypothèse est reliée au paradigme des «micro-turbulences» (Dower et al. 1997). Selon ce paradigme, les micro-turbulences augmentent les taux de rencontre entre le prédateur et la proie, augmentant ainsi le taux d'ingestion, favorisant une meilleure croissance des larves et permettant d'avoir un meilleur recrutement. Selon Cury et Roy (1989), le recrutement augmente en fonction de l'intensité des turbulences jusqu'à un niveau optimal au-delà duquel le recrutement est défavorisé.

Ainsi, les fluctuations importantes dans l'abondance des stocks d'éperlans arc-en-ciel seraient vraisemblablement causées par un recrutement inégal et imprévisible. Le recrutement dépendrait donc de l'importance de la mortalité larvaire, elle-même dépendante de la disponibilité d'une nourriture présente, abondante et appropriée lors du début de l'alimentation exogène. Il est donc fondamental d'étudier l'alimentation des larves d'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean afin de mieux comprendre certains facteurs qui régissent leur recrutement.

Pour ce présent projet, nous avons trois principaux objectifs. Premièrement, de décrire le régime alimentaire des jeunes éperlans arc-en-ciel du lac Saint-Jean. Ensuite, de déterminer si les jeunes éperlans font une sélection de leurs proies. Finalement, d'étudier certains facteurs influençant le succès d'alimentation des éperlans, comme la température des eaux de surface, la date et la densité de proies dans le milieu.

CHAPITRE II
MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 Site d'étude

Le lac Saint-Jean, un réservoir hydroélectrique, situé à la latitude nord 48°35' et à la longitude ouest 72°03', a une superficie de 1 053 km² et son bassin versant couvre 73 000 km². Ses principaux affluents sont l'Ashuapmushan, la Mistassini et la Péribonka (Jones et al. 1979). Ce lac peu profond a une profondeur moyenne de 11,3 m et une profondeur maximale de 63 m. Près de 25% de sa superficie totale ne dépasse pas les 3 m de profondeur et 40%, les 6 m de profondeur. Le temps de séjour moyen des eaux du lac Saint-Jean est de 93 jours (~ 3 mois). Elles se renouvellent donc environ 4 fois par année. Le niveau trophique du lac se situe entre l'oligotrophie et la mésotrophie, mais on peut retrouver des zones eutrophes, reflétant l'influence de tributaires riches en substances nutritives. Le comportement thermique des eaux du lac est caractéristique des systèmes fortement exposés aux vents. La profondeur de la thermocline atteint les valeurs asymptotiques (20-25 m) observées pour les lacs de grande superficie. Ceci, ajouté à la faible profondeur moyenne (11,3 m), permet de constater que la majeure partie des eaux se retrouvent dans la couche thermique supérieure du lac (épilimnion) (Jones et al. 1979).

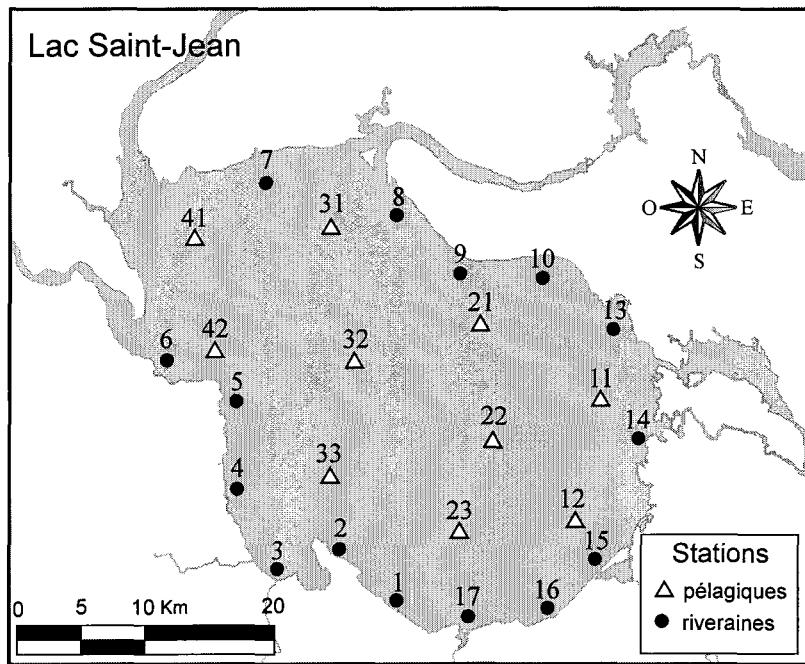


Figure 2. Localisation des stations riveraines (cercles noirs) et pélagiques (triangles blancs) du lac Saint-Jean

2.2 Échantillonnage

L'étude a eu lieu sur deux années, soit durant la saison estivale de 1998 et 1999.

L'ensemble de la superficie du lac Saint-Jean a été étudiée à l'aide de 10 stations situées dans la zone pélagique (11, 12, 21, 22, 23, 31, 32, 33, 41 et 42) (voir l'annexe 1 pour les coordonnées géographiques) et de 15 stations situées dans la zone riveraine (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 16 et 17) (voir les annexes 2 et 3 pour les coordonnées géographiques) (figure 2). Les stations pélagiques ont été sélectionnées selon l'étude de Jones et al. (1980).

En 1998, les stations riveraines 1 à 8, situées sur les rives ouest du lac, ont été visitées à 7 reprises entre le 14 mai et le 11 juin, tandis que les 10 stations pélagiques ont été visitées à 8 reprises, soit le 24 mai, les 7 et 12 juin, les 7 et 21 juillet, les 3 et 5 août et le 30 septembre. Pour les stations riveraines 1 à 5, nous avons localisé les isobathes de 3 et 5 m; à la station 6, les isobathes de 2 et 5 m et aux stations 7 et 8, les isobathes de 2, 3 et 5 m. Aux isobathes de 2 m, nous avons chaluté horizontalement à 0,25 m de la surface, aux isobathes de 3 m, à 1,5 m et aux isobathes de 5 m, à 0,25 et 3,5 m.

En 1999, les stations riveraines 1, 8 à 10 et 13 à 17, situées sur les rives est du lac, ont été visitées à 11 reprises entre le 22 mai et le 23 juin, tandis que les 10 stations pélagiques ont été visitées à 6 reprises, soit le 31 mai, les 6, 10, 21 et 28 juin et le 5 août. Pour les stations riveraines 1 et 13 à 17, nous avons échantillonné aux isobathes de 3 et 5 m tandis que les stations 8 à 10 ont été échantillonnées aux isobathes de 2 et 3 m. Aux isobathes de 2 m, nous avons chaluté horizontalement à 0,25 m de la surface, aux isobathes de 3 m, à 1,5 m et aux isobathes de 5 m, à 3,5 m.

2.2.1 Caractéristiques physiques

Durant toute la période d'échantillonnage, la température de la colonne d'eau a été mesurée à l'aide d'une sonde munie d'un fil de 50 m (YSI model 57). Le pH a été mesuré *in situ* avec un pH-mètre (modèle HI 9024) à partir d'un échantillon prélevé dans les eaux de surface.

2.2.2 Zooplancton

Les organismes zooplanctoniques ont été récoltés du 14 mai au 30 septembre en 1998 et du 22 mai au 7 août en 1999, à l'aide d'un filet à plancton de 50 cm de diamètre ayant un vide de maille de 150 microns. Le volume d'eau filtré a été évalué avec un débitmètre (Compagnie General Oceanics, Modèle 2030R) ayant été installé au centre de l'ouverture du filet à plancton. Le chalutage horizontal était d'une durée de 10 minutes et de 30 minutes à une heure, selon les stations, lors du chalutage pour la capture des juvéniles. Les échantillons ont été conservés dans du méthanol 100%.

2.2.3 Éperlan arc-en-ciel

En 1998, la période d'échantillonnage s'est étendue du 14 mai au 7 juillet. Les larves d'éperlan arc-en-ciel ont été récoltées durant le jour avec le même filet à plancton qui a servi à la capture du zooplancton, soit un filet de 50 cm de diamètre ayant un vide de maille de 150 microns. En 1999, la période d'échantillonnage s'est étendue du 22 mai au 28 juin. Les larves ont été prises durant le jour avec le même filet utilisé l'année précédente, mais à partir du 10 juin, un filet conique supplémentaire a été ajouté. Ce dernier mesure 50 cm de diamètre et a un vide de maille de 500 microns. Aucune différence significative n'a été trouvée entre le nombre de larves d'éperlan capturées avec le filet ayant un vide de maille de 150 microns et celui de 500 microns. Le volume d'eau filtré a été évalué avec un débitmètre (Compagnie General Oceanics, Modèle 2030R) installé au centre de l'ouverture de chaque filet. Le chalutage horizontal était d'une durée de 10 minutes. Le matériel a été conservé dans du méthanol 100%.

Les juvéniles d'éperlan arc-en-ciel ont été capturés aux stations pélagiques durant la nuit du 5 août en 1998 et 1999 et du 30 septembre en 1998. Leur capture a été effectuée à l'aide d'un chalut de 8,5 m de long ayant une base carrée de 2 m par 2 m et composé de quatre sections successives de dimensions décroissantes de vides de maille, ceux-ci mesurant respectivement 7,6 cm, 6,7 cm, 3,8 cm et 1,9 cm. Le cul du chalut, d'une longueur de 2 m est doublé à l'intérieur avec un filet de seine ayant un vide de maille de 6 mm. Le volume d'eau filtrée a été évalué avec un débitmètre (Compagnie General Oceanics, Modèle 2030R) installé au centre de l'ouverture du chalut. Aux stations pélagiques où la profondeur d'eau est de 15 m, le chalutage horizontal a été d'une durée de 30 minutes: 15 minutes à 4 m de la surface et 15 minutes à 2 m de la surface. Pour les stations de plus de 30 mètres d'eau, le chalutage a été d'une durée 60 minutes: 5 minutes à tous les 2 m à partir de 24 m de la surface. Les échantillons ont été conservés dans du méthanol 100%.

2.3 Laboratoire

2.3.1 Zooplancton

Pour tous les échantillons où des éperlans arc-en-ciel ont été trouvés, les organismes zooplanctoniques ont été identifiés à l'espèce et dénombrés. Nous avons trouvé trois espèces de daphné au lac Saint-Jean; *Daphnia longiremis*, *D. dubia* et *D. pulex*, mais pour les besoins de cette étude, nous les avons identifiées seulement jusqu'au genre. En ce qui a trait aux différents stades copépodites de copépodes, ils ont été inclus avec les adultes. Pour chaque échantillon, deux aliquotes ont été utilisées avec un volume moyen de 0,05 ml par aliquote. Pour obtenir le volume de sous-échantillon, l'espèce la plus abondante devait être au nombre de 100 dans chaque aliquote. Nous avons utilisé un stéréomicroscope à un grossissement de 50X pour l'identification et le dénombrement du zooplancton.

2.3.2 Éperlan arc-en-ciel

L'ensemble des échantillons ont été triés. Les larves de poisson ont été identifiées à l'espèce selon Auer (1982). En 1998, un maximum de 10 larves d'éperlan par échantillon et l'ensemble des larves d'éperlan en 1999 ont été caractérisées. La longueur totale de chaque individu a été mesurée au dixième de mm, à l'aide d'une règle micrométrique installée sur un stéréomicroscope. Leur stade de développement a été déterminé selon Cooper (1978) (figure 3). Pour chaque larve d'éperlan arc-en-ciel, le tube digestif a été ouvert afin de dénombrer les proies et de les identifier à l'espèce.

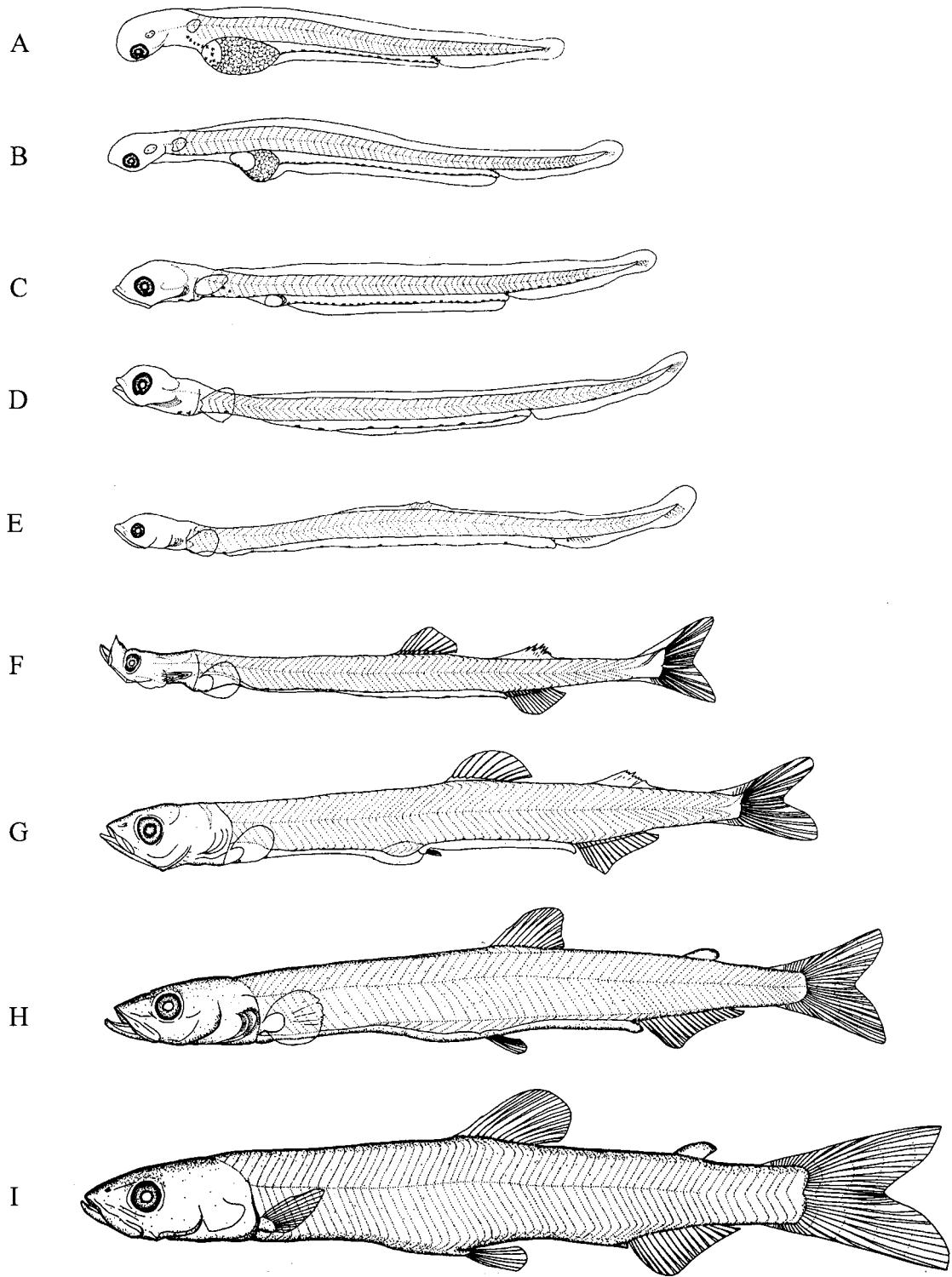


Figure 3: Les neuf stades de développement de l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) selon Cooper (1978).

Pour classer les éperlans arc-en-ciel selon leur stade de développement, nous avons utilisé certains critères morphologiques décrits dans l'article de Cooper (1978). Cet auteur a recourt en grande partie aux rayons des nageoires pour différencier les stades de développement des larves. Étant donné que les larves étaient souvent en mauvais état, en particulier les nageoires, nous avons utilisé dans certains cas d'autres caractéristiques morphologiques, déterminées d'après nos observations. Les descriptions employées pour classer les éperlans, dans les différents stades de développement (figure 3), sont les suivantes:

Stade A: La protolarve a un sac vitellin dont le vitellus a un diamètre supérieur au diamètre de la gouttelette lipidique.

Stade B: La protolarve a un sac vitellin dont le vitellus a un diamètre égal ou inférieur au diamètre de la gouttelette lipidique.

Stade C: Il reste à la protolarve uniquement sa gouttelette lipidique et/ou des vestiges du sac vitellin, une membrane.

Stade D: C'est le dernier stade de la protolarve; il ne reste plus aucune trace du sac vitellin.

Stade E: On observe pour cette mésolarve, un début de formation de la vessie natatoire, ressemblant à un bourgeon. Ce dernier est attaché au tube digestif, au tiers de celui-ci, du côté de la paroi du corps. On voit également une structure blanche opaque accolée au début du tube digestif; le foie.

Stade F: Cette mésolarve possède des rayons bien développés à ses nageoires dorsales et anales. Les rayons de la nageoire caudale sont presque complets et la nageoire adipeuse est partiellement formée.

Stade G: Au dernier stade de mésolarve, les bourgeons des nageoires pelviennes sont présents. La vessie natatoire est distincte et force l'intestin à descendre antérieurement aux bourgeons des nageoires pelviennes.

Stade H: La métalarve possède tous ses rayons de nageoire, à l'exception de ceux des nageoires pectorales.

Stade I: Le juvénile possède l'ensemble de ses rayons de nageoire.

Stade J: Le stade J a été ajouté pour cette étude afin de différencier les juvéniles capturés au mois de septembre en 1998, des individus du stade I capturés au mois d'août en 1998 et en 1999.

En ce qui concerne les juvéniles, un maximum de dix individus par station a été conservés à des fins d'analyse. La longueur totale de ces derniers a été mesurée avec un vernier ayant une précision au centième de millimètre. Le tube digestif de chaque juvénile a été ouvert afin d'identifier et de dénombrer les proies et de compter le nombre de parasites.

2.4 Analyse des données

2.4.1 Caractéristiques physiques

La valeur moyenne du pH, lors des deux années d'étude, a été déterminée à partir de l'ensemble des valeurs obtenues lors des périodes d'échantillonnage, soit du 14 mai au 3 août pour 1998 ($n = 305$) et du 22 mai au 28 juin pour 1999 ($n = 219$).

Les valeurs de température moyenne des eaux de surface, au cours de la période d'échantillonnage, ont été établies en effectuant la moyenne de l'ensemble des données de température de surface récoltées lors d'une même journée.

2.4.2 Zooplancton

Composition taxinomique et variations saisonnières

Pour déterminer la composition taxinomique et l'évolution de la densité dans le temps du zooplancton, nous avons compilé les données de l'ensemble des échantillons de zooplancton, où au moins une larve d'éperlan avait été trouvée. Ainsi, en 1998, on a analysé 121 échantillons de zooplancton et en 1999, 87 échantillons.

Taille

L'influence de la taille des proies dans l'alimentation des éperlans a été établie en utilisant les valeurs de taille des organismes zooplanctoniques déterminés par Ward et Whipple (1966) et par Pennak (1978).

Abondance et distribution des quatre principales proies des éperlans arc-en-ciel

La comparaison de la densité des quatre principales proies des éperlans (*Bosmina longirostris*, nauplii de copépodes, *Diaptomus minutus* et *Cyclops scutifer*), entre 1998 et 1999, a été effectuée à l'aide d'un test t, en utilisant les données ayant été prises aux mêmes stations, aux mêmes profondeurs et pour une même période. Ainsi, nous avons utilisé les valeurs obtenues aux stations riveraines 1 (à 1,5 et 3,5 m de la surface) et 8 (à 0,25 et 1,5 m de la surface) pour une période de 15 jours à partir de l'apparition des larves. Également, nous avons pris l'ensemble des valeurs obtenues aux stations pélagiques (à 3,5 m de la surface), à l'exception de celles des stations 31, 41 et 42, pour une période de 20 jours à partir de l'apparition des larves. Finalement, nous avons utilisé les données enregistrées aux stations pélagiques 11, 12, 21, 31 et 42 (à 3 m de la surface), visitées de nuit le 5 août.

Un test t a été utilisé pour comparer la densité des quatre principales proies des éperlans entre les deux types de stations (riveraines et pélagiques). Les données utilisées correspondent aux stations où au moins un éperlan des stades de développement C à J a été trouvé. Les échantillons contenant uniquement des larves des stades A ou B n'ont pas été retenus car nous avons déterminé qu'à ces stades de développement, les larves n'ont pas débuté significativement leur alimentation exogène.

2.4.3 Éperlan arc-en-ciel

Abondance et distribution

La densité des éperlans entre les deux années a été comparée à l'aide d'un test t. Nous avons utilisé les données ayant été prises aux mêmes stations, aux mêmes profondeurs et pour une même période, tel que spécifié précédemment pour le zooplancton.

Un test t a été utilisé pour comparer la densité des éperlans arc-en-ciel entre les deux types de stations (riveraines et pélagiques). Nous avons utilisé les données correspondant aux stations où au moins un éperlan des stades de développement C à J a été trouvé.

Croissance

La longueur totale moyenne des éperlans arc-en-ciel entre les différents stades de développement, en 1998 et 1999, a été comparée à l'aide d'une ANOVA suivi d'un test de Tukey/Kramer.

2.4.3.1 Incidence d'alimentation

Le pourcentage d'incidence d'alimentation des éperlans arc-en-ciel entre les différents stades de développement, en 1998 et 1999, a été comparé en utilisant un test du khi carré. Ce même test a également été utilisé afin de comparer l'incidence d'alimentation des éperlans entre les deux années d'échantillonnage, pour un même stade de développement.

2.4.3.2 Sélectivité

Zooplancton et diète des éperlans

Les tableaux 3 et 4, présentant la composition de la diète des éperlans arc-en-ciel selon leur stade de développement ainsi que la composition des organismes

zooplanctoniques disponibles dans le milieu pour ces mêmes stades, ont subi trois modifications (voir annexes 4 et 5 pour les données originales). Le pourcentage concernant les organismes non déterminés a été éliminé et le pourcentage des copépodes non déterminés a été ajouté, toute proportion gardée, au pourcentage des copépodes identifiés. Les stades de développement, comprenant moins de cinq éperlans ont été éliminés. Ainsi, le stade H en 1998 a été éliminé. Les stades A et B ont également été éliminés pour les deux années étant donné leur trop faible incidence d'alimentation. La comparaison du nombre moyen de proies par éperlan arc-en-ciel, selon les stades de développement, entre 1998 et 1999 a été effectué à l'aide d'un test t.

Indice «d'électivité»

La sélection des proies par les éperlans arc-en-ciel a été déterminée en utilisant l'indice «d'électivité» (E), décrit par Ivlev (1961). Cet indice se calcule en utilisant la formule suivante:

$$E = (r_i - p_i) / (r_i + p_i) \quad (1)$$

où « r_i » représente la proportion relative de chaque espèce dans le tube digestif, exprimée en pourcentage et « p_i », la proportion relative de chaque espèce dans le milieu, toujours exprimée en pourcentage. Cet indice varie entre +1 et -1, la première valeur étant la sélection positive de la proie et la seconde valeur, le rejet complet de la proie.

Pour calculer l'indice «d'électivité», nous avons utilisé les données présentées dans les tableaux 3 et 4. Nous n'avons calculé l'indice «d'électivité» que pour les espèces retrouvées dans le tube digestif ou dans le milieu à des proportions supérieures à 1%.

2.4.3.3 Succès d'alimentation

Le succès d'alimentation a été déterminé pour les éperlans des stades C à J, en 1998 et pour les éperlans des stades C à I, en 1999. Les larves des stades A et B n'ont pas été utilisées, étant donné leur incidence d'alimentation trop faible. Pour éliminer l'effet de la longueur, nous avons mis en relation le nombre de proies ingérées en fonction de la longueur totale des éperlans. Afin de stabiliser la variance, le logarithme naturel du nombre de proies ingérées a été utilisé. Étant donné que le logarithme de zéro est impossible, nous avons additionné un à l'ensemble des données. Le succès d'alimentation (ou nombre résiduel de proie) de chaque éperlan a été obtenu de la façon suivante:

$$\text{Succès d'alimentation de l'éperlan}_1 = \ln(\text{nombre de proies} + 1) - (mx + b) \quad (2)$$

où « $(mx + b)$ » est l'équation de la droite de régression et « x » est la longueur totale de «l'éperlan₁». Ainsi, pour un éperlan donné, son succès d'alimentation est indépendant de sa longueur. Un éperlan avec un nombre de proies dans le tube digestif inférieur à la moyenne (droite de régression) est considéré comme ayant un faible succès d'alimentation par rapport à ses congénères de taille équivalente.

Distribution

Un test t a été utilisé afin de comparer les succès d'alimentation obtenus entre les stations riveraines et pélagiques pour chaque année d'échantillonnage. Rappelons que l'ensemble des données utilisées correspond au succès d'alimentation des éperlans des stades C à J.

Heure

L'ensemble des larves d'éperlan capturées en mai et juin l'ont été durant le jour, tandis que les juvéniles capturés en août et septembre l'ont été de nuit, pour contrer

l'évitement de l'engin de pêche par les poissons. Les données prises de jour ont donc été séparées de celles prises de nuit, afin qu'elles puissent être comparables. Nous avons calculé le succès d'alimentation moyen des éperlans pour chaque heure de capture. Les moyennes ayant moins de cinq données ont été éliminées.

Température et date

Les données du succès d'alimentation ont été mises en relation avec la température des eaux de surface et avec la date d'échantillonnage. Nous avons utilisé un succès d'alimentation moyen, c'est-à-dire, la moyenne des données du succès d'alimentation des éperlans capturés à une même station pour une date donnée. Les moyennes ayant moins de cinq données ont été éliminées. Un test de corrélation a été effectué pour le succès d'alimentation moyen en fonction de la température.

Limitation de l'alimentation en fonction du nombre de proies

L'effet de la densité de proies spécifiques sur le succès d'alimentation des éperlans a été vérifié en utilisant une fonction d'Ivlev (1961):

$$r = R (1 - e^{-\varepsilon p}) \quad (3)$$

où « r » représente le succès d'alimentation, « R » est l'amplitude de la courbe d'Ivlev, « ε » est le coefficient de proportionnalité et « p » est la densité des proies. Dans cette fonction, on constate que « r » augmente rapidement, puis atteint un plateau, signifiant que les prédateurs deviennent saturés. Étant donné que cette fonction d'Ivlev débute par défaut à l'ordonnée à l'origine (0,0) et que nous avons des valeurs de succès d'alimentation négatives, un paramètre de correction a été ajouté à l'équation (paramètre de correction déterminé par le logiciel JMP, SAS Institute):

$$r = R_1 + R_2 (1 - e^{-\epsilon p}) \quad (4)$$

où « R_1 » est le paramètre de correction et « R_2 » est l'amplitude de la courbe d'Ivlev.

Seuls les stades C, D et E ont été retenus afin de regarder l'effet de la densité des proies sur le succès d'alimentation des tous premiers stades de développement des éperlans débutant leur nutrition exogène. Nous avons additionné la densité des nauplii de copépodes et des *Cyclops scutifer* puisque ces deux proies constituent plus de 90% du régime alimentaire des larves d'éperlan des stades D et E en 1998 et en 1999. Pour les éperlans du stade C, en 1998, ces proies représentent 75% du régime alimentaire et 100% en 1999. Nous avons utilisé un succès d'alimentation moyen, c'est-à-dire, la moyenne des données du succès d'alimentation des éperlans des stades C, D ou E capturés à une même station pour une date donnée. Les moyennes ayant deux données et moins ont été éliminées.

2.4.3.4 Succès d'alimentation combiné

Nous avons calculé un troisième succès d'alimentation avec l'ensemble des éperlans, des stades de développement C à J, des deux années d'échantillonnage: le succès d'alimentation combiné. Un test t a été utilisé afin de comparer les succès d'alimentation obtenus entre 1998 et 1999 pour un même stade de développement. Le seuil de signification a été déterminé en utilisant la correction de Bonferroni.

CHAPITRE III

RÉSULTATS

3.1 Caractéristiques physiques

Le pH moyen des eaux de surface est relativement constant; il est de 6,88 en 1998 et de 6,93 en 1999. Les variations temporelles de la température moyenne des eaux de surface du lac Saint-Jean, pour les périodes d'échantillonnage de 1998 et 1999, sont présentées à la figure 4. En 1998, la température était très élevée au début de mai (18°C), mais elle a diminué à 10°C à la fin du mois. Par la suite, elle a remonté graduellement durant le mois de juin pour atteindre un plateau en juillet à 20°C . En 1999, la température a augmenté plus graduellement de la fin mai à la fin juin, passant de 9°C , le 22 mai, à 21°C , le 28 juin.

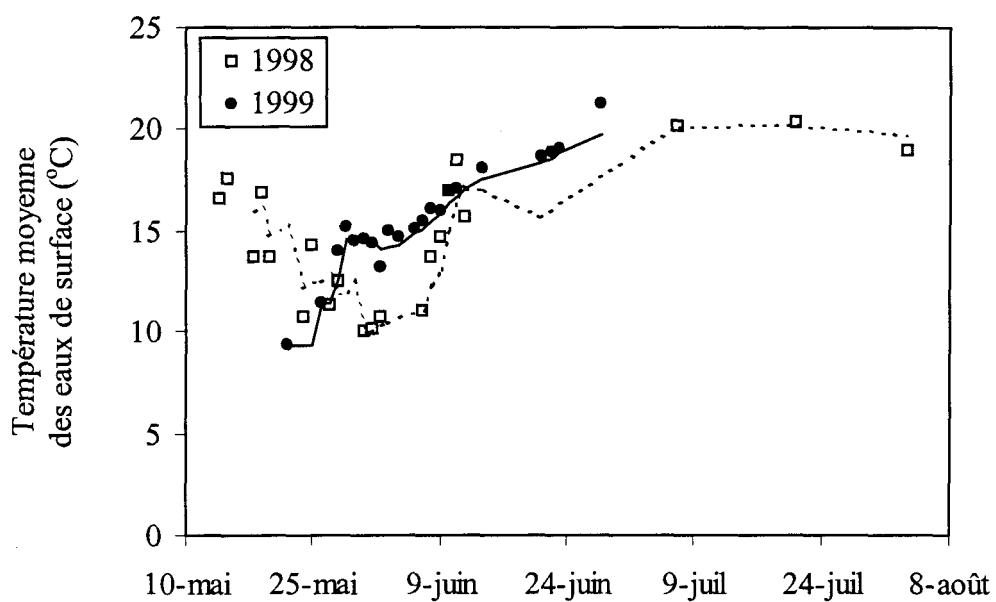


Figure 4: Température moyenne des eaux de surface en 1998 (carrés) et 1999 (cercles noirs), au lac Saint-Jean. Les traits représentent des moyennes mobiles calculées par intervalle de trois jours en 1998 (trait pointillé) et 1999 (trait continu).

3.2 Zooplancton

3.2.1 Composition taxinomique et variations saisonnières

En 1998, 13 espèces d'organismes zooplanctoniques ont été capturées dans les eaux du lac Saint-Jean tandis qu'en 1999, 16 espèces d'organismes ont été identifiées (tableau 1). En 1998, on a observé la plus faible densité moyenne de zooplancton des deux années d'échantillonnage avec $4,6 \text{ ind. L}^{-1}$ (la densité a varié entre $0,02 \text{ ind. L}^{-1}$ et $52,59 \text{ ind. L}^{-1}$). Pour l'année 1999, la densité moyenne d'organismes zooplanctoniques fut de $13,1 \text{ ind. L}^{-1}$ (la densité a varié entre $0,91 \text{ ind. L}^{-1}$ et $75,29 \text{ ind. L}^{-1}$).

Pour les deux années, ce sont les copépodes qui dominent la composition du zooplancton avec 64,5% en 1998 et 48% en 1999. Le cyclopoïde *Cyclops scutifer* (38,4% en 1998 et 26,4% en 1999) et le calanoïde *Diaptomus minutus* (25,6% en 1998 et 20,6% en 1999) sont les deux principaux copépodes que l'on retrouve dans le milieu. On retrouve également dans le milieu un fort pourcentage de nauplii de copépodes, sensiblement dans les mêmes proportions pour les deux années, soit 9,6% en 1998 et 9,9% en 1999 (tableau 1).

En 1998, les cladocères (25%) sont en seconde importance tandis qu'en 1999, ce sont les rotifères (20,4%). Pour les deux années, le genre *Daphnia* sp. (7% en 1998 et 11,4% en 1999) et *Bosmina longirostris* (16,5% en 1998 et 3,4% en 1999) dominent les cladocères.

Du côté des rotifères, *Sinantherina socialis* (0,5%) est la principale espèce retrouvée en 1998, tandis qu'en 1999, c'est *Kellicottia longispina* (14,2%). Quant au protozoaire *Codonella cratera*, il est beaucoup plus important en 1999 (4,8%) qu'en 1998 (0,2%) (tableau 1). Rappelons que le filet d'échantillonage utilisé avait un vide de maille de 150 μm , ce qui à fort probablement sous-estimé les rotifères et les protozoaires.

Les fluctuations d'abondance du zooplancton au cours des périodes d'échantillonnage de 1998 et 1999 sont présentées à la figure 5. On remarque, pour l'année 1998, que le nombre moyen d'individus par litre se situe sous les 5 individus à la fin du mois de mai, tandis qu'au début du mois de juin la densité du zooplancton oscille autour de 5 ind. L^{-1} . Le zooplancton atteint sa densité maximale au début de juillet avec plus de 50 ind. L^{-1} . Au mois d'août et d'octobre, le nombre moyen d'organismes par litre varie autour de 10. Pour l'année 1999, les intervalles de confiance sont beaucoup plus importants que pour l'année précédente. Le nombre moyen d'individus par litre se situe autour de 5 à la fin du mois de mai. Au cours du mois de juin, la densité du zooplancton augmente graduellement, atteignant une densité maximale le 21 juin (28 ind. L^{-1}) et diminuant par la suite. Au début d'août, le nombre moyen d'organismes par litre varie autour de 5.

Tableau 1: Abondance des différentes espèces d'organismes zooplanctoniques retrouvées en 1998 et 1999, au lac Saint-Jean.

	1998 (N = 121)		1999 (N = 87)	
	Nombre moy. ind. L ⁻¹	%	Nombre moy. ind. L ⁻¹	%
Protozoaires				
<i>Codonella cratera</i>	0,0095	0,2	0,6285	4,8
Rotifères				
<i>Kellicottia longispina</i>	0,0007	0,0	1,8566	14,2
<i>Keratella cochlearis</i>			0,0102	0,1
<i>Keratella taurocephala</i>			0,0010	0,0
<i>Gastropus hyptopus</i>	0,0071	0,2	0,0019	0,0
<i>Sinantherina socialis</i>	0,0234	0,5	0,7980	6,1
Cladocères				
<i>Leptodora kindtii</i>	0,0004	0,0	0,0093	0,1
<i>Polypheus pediculus</i>			0,0009	0,0
<i>Holopedium gibberum</i>	0,0702	1,5	0,2553	2,0
<i>Daphnia</i> sp.	0,3213	7,0	1,4919	11,4
<i>Bosmina longirostris</i>	0,7562	16,5	0,4406	3,4
Copépodes				
Nauplii de copépodes	0,4380	9,6	1,2923	9,9
<i>Epischura lacustris</i>	0,0127	0,3	0,1265	1,0
<i>Limnocalanus macrurus</i>	0,0079	0,2	0,0003	0,0
<i>Diaptomus minutus</i>	1,1723	25,6	2,7013	20,6
<i>Cyclops scutifer</i>	1,7635	38,4	3,4670	26,4
Total	4,5832	100,0	13,0816	100,0

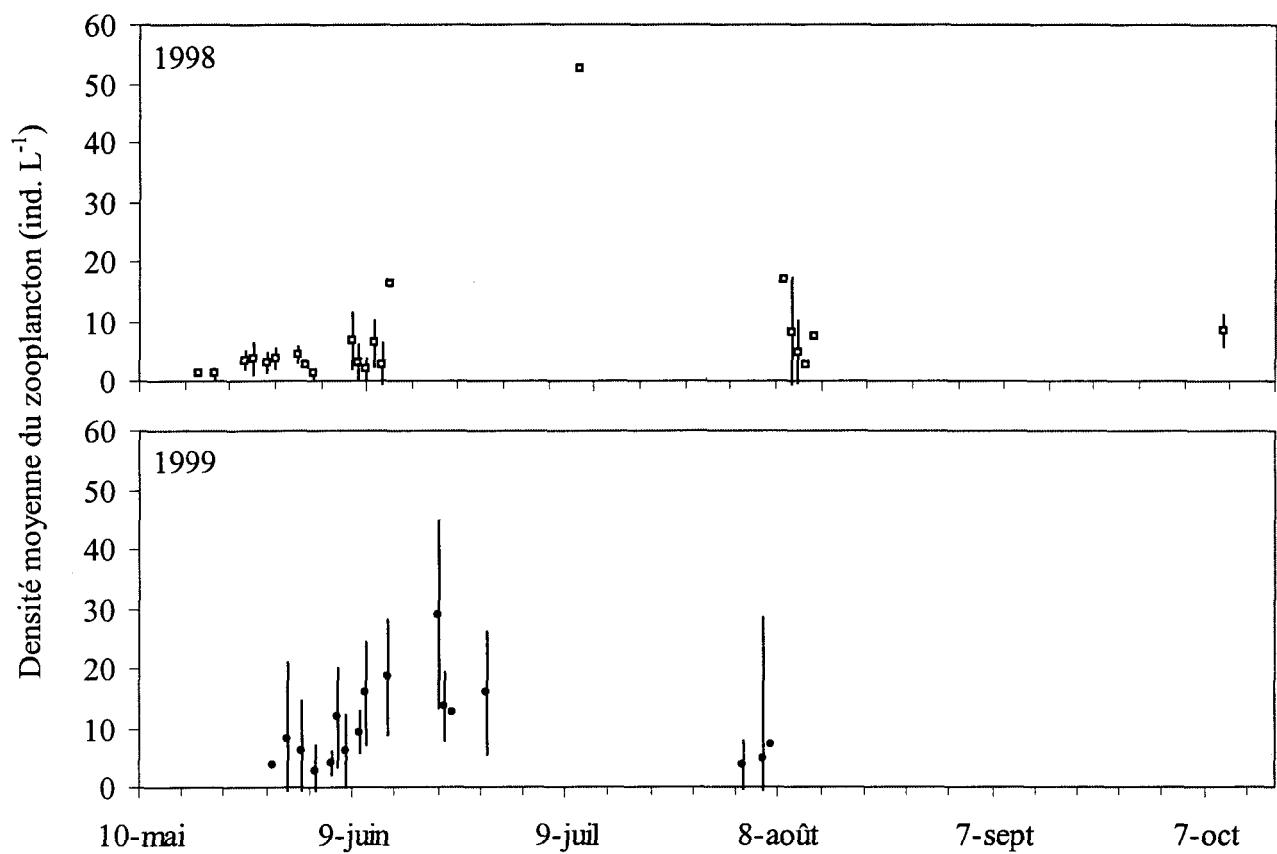


Figure 5: Fluctuations saisonnières de l'abondance du zooplancton en 1998 et 1999, au lac Saint-Jean. Les barres verticales représentent l'intervalle de confiance à 95%.

3.2.2 Abondance et distribution des principales proies de l'éperlan arc-en-ciel

La figure 6 présente l'abondance des 4 principales proies (*Bosmina longirostris*, nauplii de copépodes, *Diaptomus minutus* et *Cyclops scutifer*) des éperlans arc-en-ciel au lac Saint-Jean pour les deux années d'échantillonnage. On observe que le nombre moyen des 4 principales proies est significativement plus élevé en 1999 (8,7 ind. L⁻¹) qu'en 1998 (5,1 ind. L⁻¹) ($p = 0,04$). D'autre part, le nombre de nauplii de copépodes est significativement plus élevé en 1999 par rapport à 1998 ($p < 0,0001$). Finalement, il n'y a pas de différence significative dans l'abondance de *B. longirostris*, de *D. minutus* et de *C. scutifer* entre les deux années d'échantillonnage ($p = 0,14$, $p = 0,08$ et $p = 0,6$ respectivement).

La figure 7 illustre l'abondance des 4 principales proies des éperlans arc-en-ciel selon le type de stations (riveraines ou pélagiques) en 1998 et 1999. En 1998, le nombre moyen des 4 principales proies est significativement plus élevé aux stations pélagiques (7,4 ind. L⁻¹) que riveraines (3,2 ind. L⁻¹) ($p = 0,0003$). En 1999, nous n'avons observé aucune différence significative du nombre d'individus entre les stations riveraines (7,5 ind. L⁻¹) et pélagiques (8,2 ind. L⁻¹) ($p = 0,68$). Pour l'année 1998, le nombre de *B. longirostris* ($p = 0,017$) et de *D. minutus* ($p = 0,017$) est significativement plus élevé aux stations pélagiques que riveraines. De plus, il n'y a aucune différence significative du nombre de nauplii de copépodes et de *C. scutifer* entre les deux types de stations ($p = 0,23$ et $p = 0,58$ respectivement). En 1999, les nauplii de copépodes sont plus abondants aux stations

riveraines que pélagiques ($p = 0,019$). De plus, il n'y a aucune différence significative dans l'abondance de *B. longirostris*, de *D. minutus* et de *C. scutifer* entre les deux types de stations ($p = 0,34$, $p = 0,16$ et $p = 0,58$ respectivement).

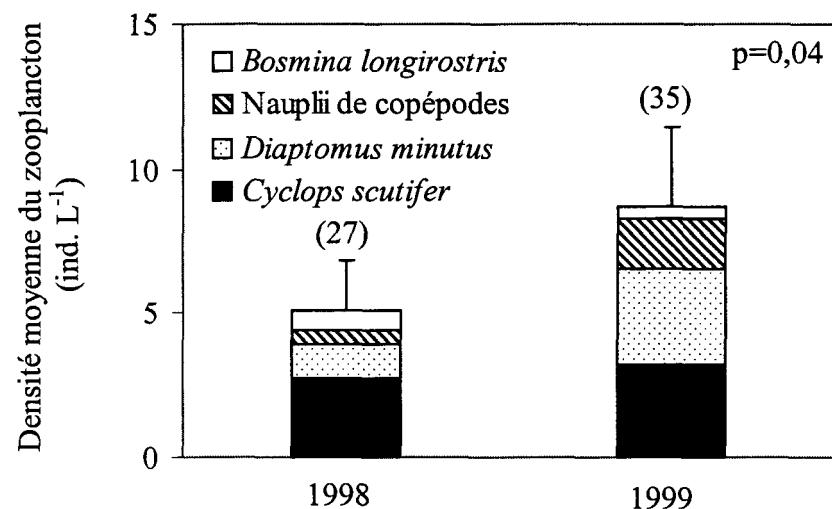


Figure 6: Nombre moyen des 4 principales proies des éperlans arc-en-ciel (ind. L⁻¹) en 1998 et 1999, au lac Saint-Jean. Les barres verticales représentent l'intervalle de confiance à 95%. Les chiffres entre parenthèses correspondent au nombre d'échantillons.

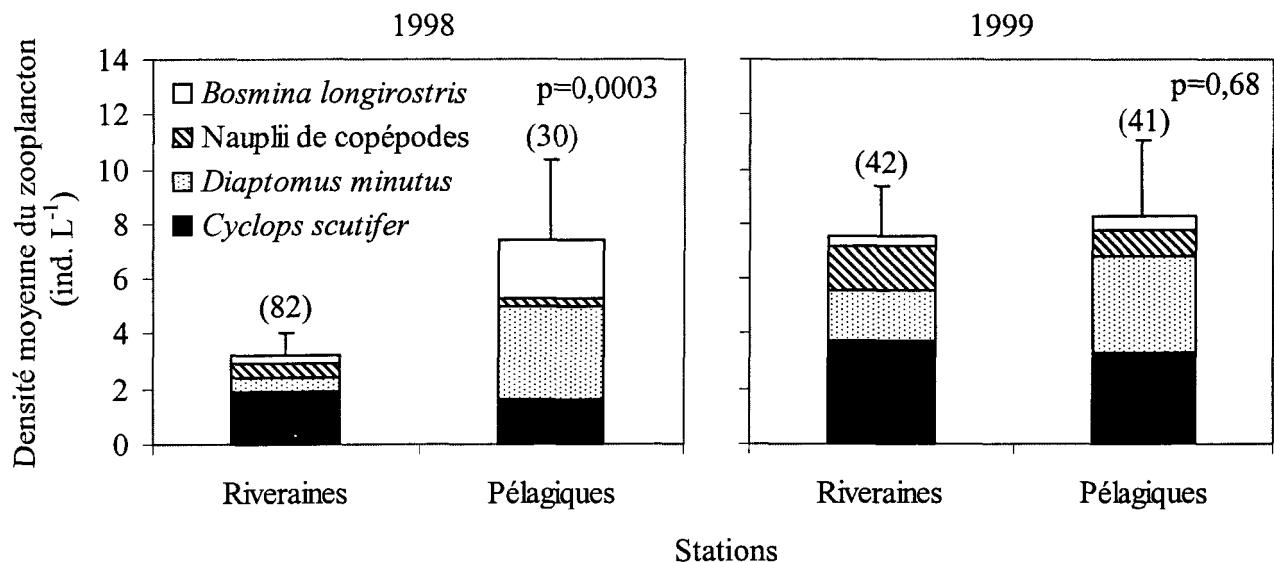


Figure 7: Nombre moyen des 4 principales proies des éperlans arc-en-ciel (ind. L⁻¹) en fonction des stations riveraines et pélagiques en 1998 et 1999, au lac Saint Jean. Les barres verticales représentent l'intervalle de confiance à 95%. Les chiffres entre parenthèses correspondent au nombre d'échantillons.

3.3 Éperlan arc-en-ciel

3.3.1 Abondance et distribution

La figure 8 présente l'abondance des éperlans arc-en-ciel au lac Saint-Jean pour les deux années d'échantillonnage. Il a été déterminé que la densité des éperlans arc-en-ciel est significativement plus élevée en 1998 (2 044 éperlans 1000 m^{-3}) qu'en 1999 (188 éperlans 1000 m^{-3}) ($p = 0,045$). Il y avait donc 10 fois plus d'éperlans en 1998 qu'en 1999.

La figure 9 illustre l'abondance des éperlans arc-en-ciel selon le type de stations (riveraines au pélagiques) en 1998 et 1999. On constate qu'en 1998, le nombre moyen d'éperlans est significativement plus élevé aux stations riveraines (1 115 éperlans 1000 m^{-3}) que pélagiques (191 éperlans 1000 m^{-3}) ($p = 0,018$). Par contre, en 1999, nous n'avons observé aucune différence significative entre les stations riveraines (136 éperlans 1000 m^{-3}) et pélagiques (593 éperlans 1000 m^{-3}) ($p = 0,34$).

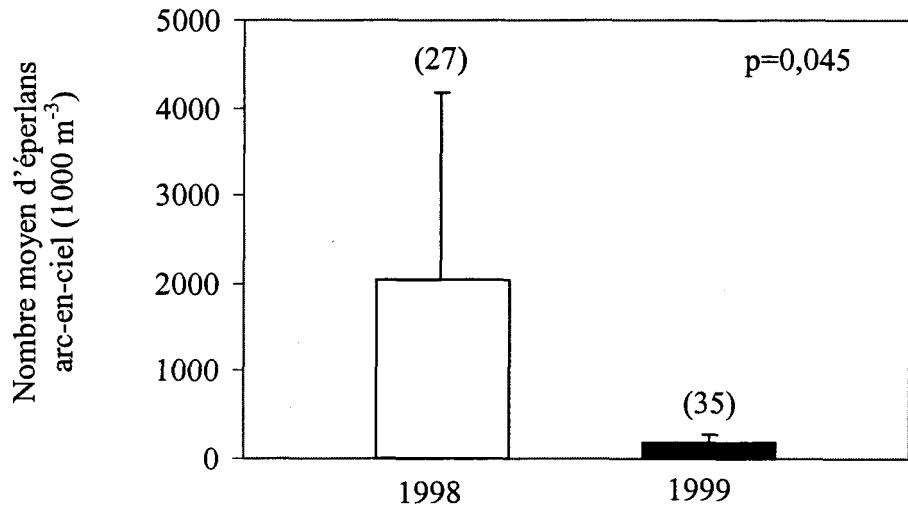


Figure 8: Nombre moyen d'éperlans arc-en-ciel (1000 m^{-3}) en 1998 et 1999, au lac Saint-Jean. Les barres verticales représentent l'intervalle de confiance à 95%. Les chiffres entre parenthèses correspondent au nombre d'échantillons.

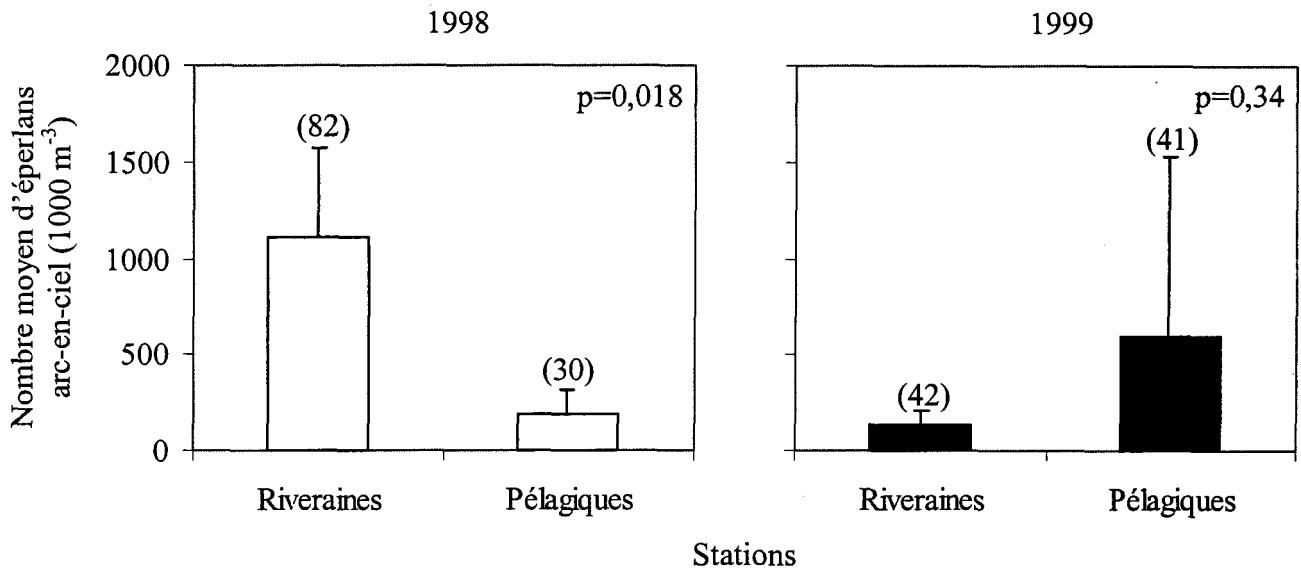


Figure 9: Nombre moyen d'éperlans arc-en-ciel (1000 m^{-3}) en fonction des stations riveraines et pélagiques en 1998 et 1999, au lac Saint Jean. Les barres verticales représentent l'intervalle de confiance à 95%. Les chiffres entre parenthèses correspondent au nombre d'échantillons.

3.3.2 Dates de capture

Les périodes de capture des éperlans arc-en-ciel selon leur stade de développement sont présentées à la figure 10. On constate, pour les stades A, B, C et D, que les captures se sont étendues en moyenne sur une période deux fois plus longue en 1998 qu'en 1999, avec une période de 23 jours et de 11 jours respectivement.

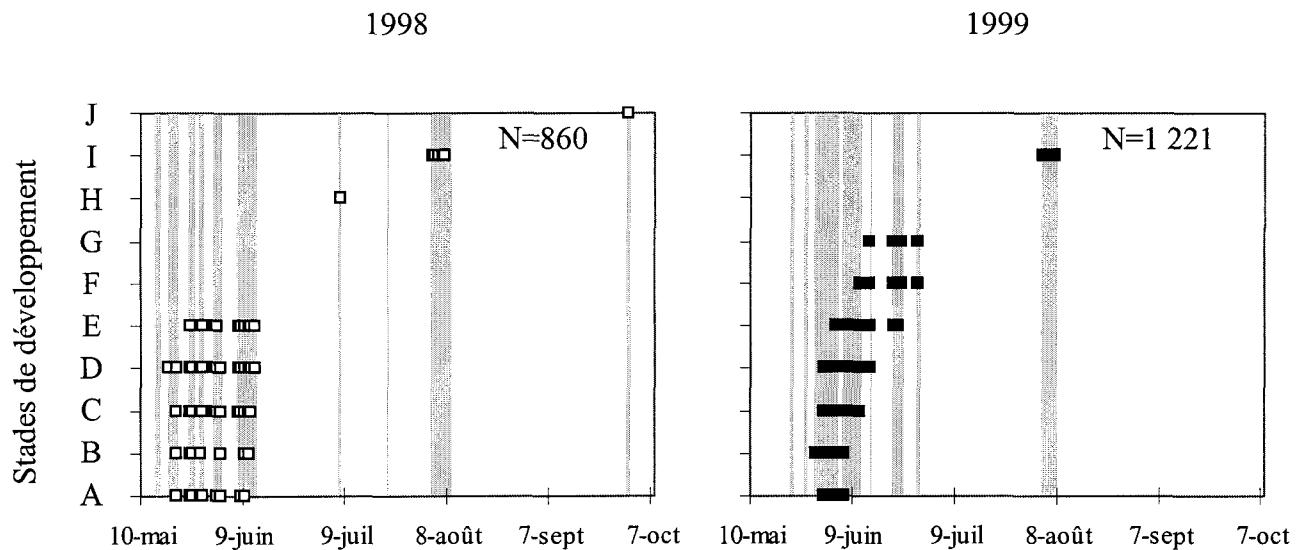


Figure 10: Dates de capture des éperlans arc-en-ciel en fonction de leur stade de développement en 1998 et 1999, au lac Saint-Jean. Les bandes grises correspondent aux dates d'échantillonnages.

3.3.3 Croissance

La figure 11 illustre la longueur totale moyenne des éperlans arc-en-ciel selon leur stade de développement pour les deux années d'échantillonnage. On observe une différence significative des longueurs entre les différents stades de développement en 1998 ($p < 0,0001$) et 1999 ($p < 0,0001$). On détecte une première différence significative des longueurs entre les stades D et E en 1998 et entre les stades C et D en 1999.

Le tableau 2 nous présente les longueurs totales moyennes des éperlans arc-en-ciel selon leur stade de développement obtenu par Cooper (1978) et lors des deux années d'échantillonnage. On remarque qu'en 1998 et 1999, la longueur des éperlans des stades A, B, C et D se situe autour de 5 mm, alors qu'au stade E, elle augmente à 8 mm en 1998 et atteint 10 mm en 1999. Pour les stades F et G, en 1999, la longueur des individus passe de 15 à 20 mm. Finalement, les juvéniles du stade I atteignent une longueur avoisinant les 40 mm pour les deux années, tandis que celle des individus du stade J, en 1998, dépasse les 50 mm. Les longueurs totales moyennes mesurées par Cooper pour les stades A, B et C varient entre 5 et 6,3 mm, tout comme les longueurs mesurées pour ces mêmes stades en 1998 et 1999. Toutefois, les larves des stades D, E et F de Cooper sont un peu plus longues que celles mesurées lors des deux années d'échantillonnage. Quant aux juvéniles du mois d'août (stade I), ils ont près de 3 mm, en 1998, et près de 5 mm, en 1999, de plus que ceux de Cooper.

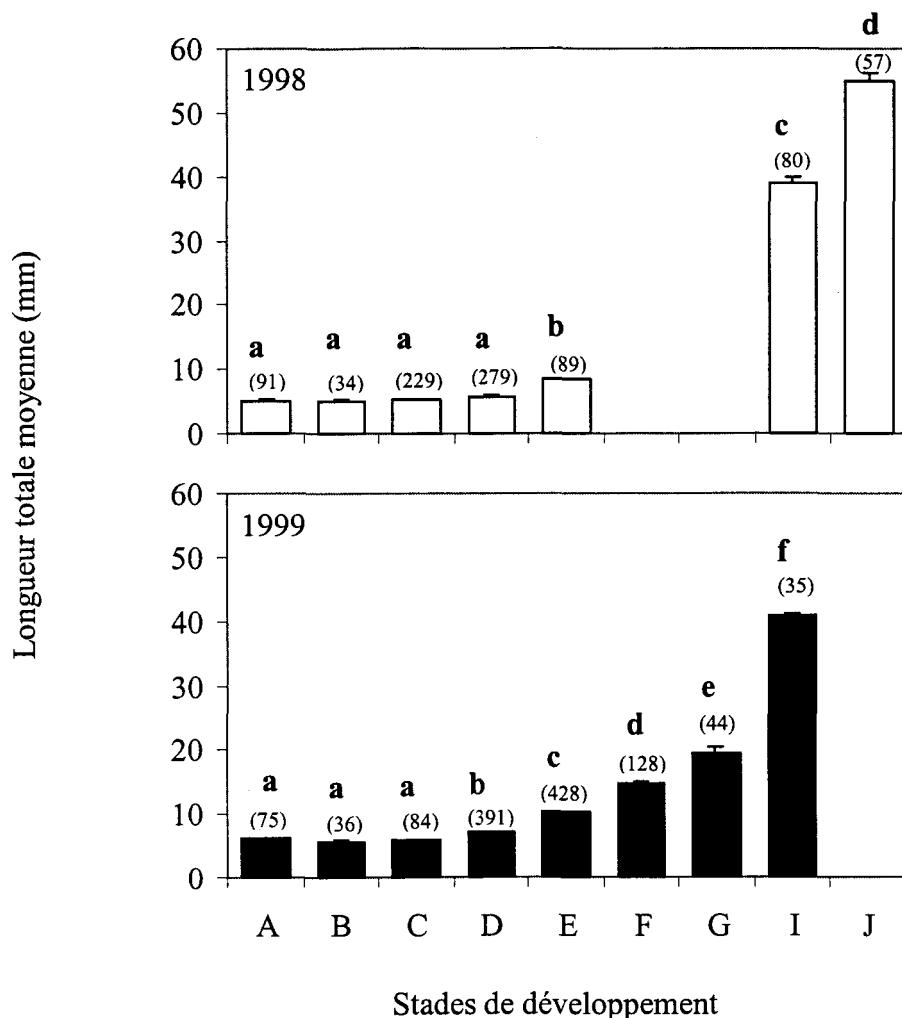


Figure 11: Longueur totale moyenne des éperlans arc-en-ciel en fonction de leur stade de développement en 1998 et 1999, au lac Saint-Jean. Les barres verticales représentent l'intervalle de confiance à 95%. Les chiffres entre parenthèses correspondent au nombre d'échantillons. Les lettres minuscules en gras, situées au-dessus des bâtonnets, lorsqu'elles sont différentes, indiquent une différence significative entre les différents stades de développement.

Tableau 2: Longueur totale (LT) moyenne des éperlans arc-en-ciel en fonction de leur stade de développement en 1998 et 1999, au lac Saint-Jean et selon Cooper (1978).

Stades de développement	Cooper (1978)	1998		1999	
	LT (mm)	n	LT (mm)	n	LT (mm)
A	5	91	5,18	75	6,21
B	5,6	34	5,04	36	5,71
C	6,3	229	5,32	84	5,95
D	9,3	279	5,75	391	7,13
E	14	89	8,39	428	10,23
F	17			128	14,70
G	22			44	19,52
I	36	80	38,94	35	40,85
J		57	54,86		

3.3.4 Alimentation

3.3.4.1 Incidence d'alimentation

La proportion des éperlans arc-en-ciel ayant au moins une proie dans leur tube digestif, en relation avec leur stade de développement, est présenté à la figure 12. Cette dernière nous montre clairement que le pourcentage d'incidence d'alimentation augmente en fonction des stades de développement. Nous avons obtenu une différence significative du pourcentage d'incidence d'alimentation entre les stades de développement, en 1998 ($p < 0,0001$) et 1999 ($p < 0,0001$). De plus, les larves débutent leur alimentation exogène au stade B, avant la résorption complète de leur vitellus dans les deux années d'étude; cependant, il ne s'agit que d'une seule larve en 1998 et de deux larves en 1999. Finalement, l'incidence d'alimentation des larves a été significativement plus élevée en 1998 qu'en 1999 pour les stades C (27% comparativement à 4% ; $\chi^2 = 21,3$, $p < 0,0001$) et D (44% comparativement à 32% ; $\chi^2 = 12,4$, $p = 0,0004$).

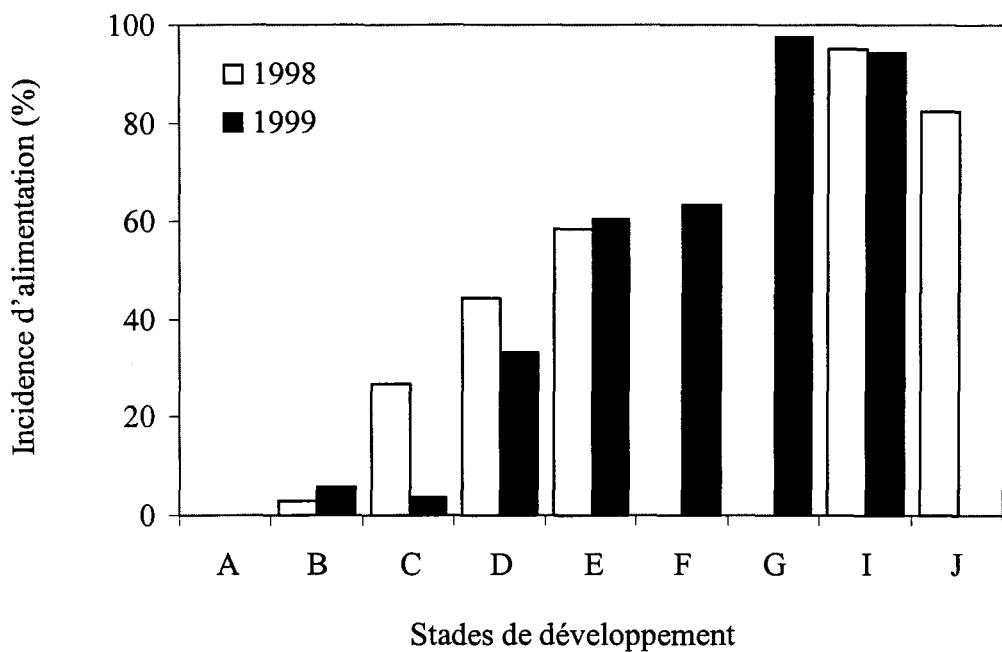


Figure 12: Incidence d'alimentation (%) des éperlans arc-en-ciel en fonction de leur stade de développement en 1998 (bâtonnets blancs) et 1999 (bâtonnets noirs), au lac Saint-Jean.

3.3.4.2 Sélectivité

Zooplancton et diète des éperlans arc-en-ciel

Les tableaux 3 et 4 présentent la composition de la diète des éperlans arc-en-ciel selon leur stade de développement ainsi que la composition des organismes zooplanctoniques disponibles dans le milieu pour ces mêmes stades. On constate qu'en 1998 et 1999, les deux principales proies, pour les stades C, D et E, sont les nauplii de copépodes et les *Cyclops scutifer*. Ils représentent plus de 95% de leur diète, à l'exception du stade C en 1998 où la proportion n'est que de 75%. Pour les éperlans des stades F et G (tableau 4), ce sont les copépodes *Diaptomus minutus* et *C. scutifer* qui composent plus de 87% de leur diète. Quant aux juvéniles (stades I et J), ils consomment principalement le copépode *D. minutus* et le cladocère *Bosmina longirostris*. Ces deux proies représentent plus de 65% de la diète des juvéniles en 1998 et plus de 80% de leur diète en 1999. Au-delà du stade D, on ne retrouve plus de rotifères dans le tube digestif des éperlans arc-en-ciel.

Pour les deux années, si l'on exclut le stade C de 1998, le nombre de types de proie, composant plus de 95% de la diète des éperlans, passe de deux au stade D à cinq au stade I. De plus, le nombre moyen de proies par éperlan augmente progressivement en fonction du stade de développement, dans les deux années d'étude. Il a été déterminé que le nombre moyen de proies par éperlan arc-en-ciel est plus élevé en 1998 qu'en 1999 pour les stades C ($p < 0,0001$) et D ($p = 0,007$). Quant aux juvéniles du mois d'août (stade I), ceux de 1999

ont en moyenne trois fois plus de proies (169,74) dans leur tube digestif que ceux de 1998 (57,42) ($p < 0,0001$).

Nous avons identifié deux espèces de cladocères retrouvées uniquement dans le tube digestif d'éperlans du stade I en 1998 (*Alona quadrangularis*) et du stade G (*Diaphanosoma brachyurum*) en 1999 (tableaux 3 et 4). Ces deux espèces ont déjà été répertoriées auparavant au lac Saint-Jean (Lalancette 1984, Observations personnelles 1999), mais étant donné leur très faible densité, elles n'ont pas été identifiées dans le milieu.

Finalement, on note un très haut taux de parasitisme chez les juvéniles. Le cestode *Proteocephalus* sp. est présent dans l'intestin de 98,7% des éperlans capturés au mois d'août en 1998, dans 100% de ceux du mois de septembre en 1998 et dans 100% de ceux du mois d'août en 1999. Le nombre moyen de ce parasite par éperlan est de 21,5 en 1998 et de 23 en 1999.

Tableau 3: Composition (%) de la diète des éperlans arc-en-ciel, composition (%) du zooplancton dans le milieu et statistiques de nutrition en fonction des stades de développement des éperlans, en 1998 au lac Saint-Jean.
(TD, = tube digestif, M = milieu)

	Stades de développement											
	C		D		E		I		J		M	TD
	M	TD	M	TD	M	TD	M	TD	M	TD	M	TD
Protozoaires												
<i>Codonella cratera</i>	0,21	18,64	0,15	2,70	0,09	3,15	1,02					
Rotifères												
<i>Kellicottia longispina</i>											0,12	
<i>Keratella cochlearis</i>		1,69										
<i>Gastropus hyptopus</i>	0,44		0,28			0,11						
<i>Sinantherina socialis</i>	0,37	1,69	0,83			0,01						
Cladocères												
<i>Leptodora kindtii</i>									0,08	0,59		0,12
<i>Polyphemus pediculus</i>										0,89		0,03
<i>Holopedium gibberum</i>	1,91		1,89		2,24		1,22	1,28	0,40		3,58	
<i>Daphnia</i> sp.	4,80		5,98		8,40		14,20	15,18	0,62		3,18	
<i>Bosmina longirostris</i>	6,97		8,22		11,68		28,29	36,19	7,73		51,69	
<i>Alona quadrangularis</i>									0,04			
Copépodes												
Nauplii de copépodes	18,23	44,08	14,27	33,78	13,20	37,80	0,66		0,83			
<i>Epischura lacustris</i>	0,26		0,26		0,22		0,47	4,29	0,32		14,36	
<i>Limnocalanus macrurus</i>	0,16		0,24		0,26		0,04		0,06		0,29	
<i>Diaptomus minutus</i>	14,61	2,61	16,22		14,27	7,25	48,43	29,78	80,26		17,22	
<i>Cyclops scutifer</i>	52,04	31,29	51,66	63,52	49,52	51,80	5,47	11,76	9,78		9,53	
Nombre de TD analysé		229		279		89		80		57		
Nombre de TD, 1 proie et +		61		124		52		76		47		
% incidence d'alimentation		26,64		44,44		58,43		95,00		82,46		
Nombre total de proies		96		221		142		4 594		5 987		
Nombre moyen de proies		0,42		0,79		1,60		57,42		105,04		

Tableau 4: Composition (%) de la diète des éperlans arc-en-ciel, composition (%) du zooplankton dans le milieu et statistiques de nutrition en fonction des stades de développement des éperlans, en 1999 au lac Saint-Jean.
(TD = tube digestif, M = milieu)

	Stades de développement											
	C		D		E		F		G		I	
	M	TD	M	TD	M	TD	M	TD	M	TD	M	TD
Protozoaires												
<i>Codonella cratera</i>	50,44		11,70	1,41	2,65		0,23		0,09			
Rotifères												
<i>Kellicottia longispina</i>	7,99		18,54	1,88	15,88		11,00		11,90		0,47	
<i>Keratella cochlearis</i>	0,13		0,04		0,07		0,10		0,09			
<i>Keratella taurcephala</i>	0,04		0,01		0,01							
<i>Gastropus hyptopus</i>					0,01		0,02		0,02			
<i>Sinantherina socialis</i>	0,50		7,81		8,40		5,08		4,11			
Cladocères												
<i>Leptodora kindtii</i>	0,03		0,05		0,06		0,08		0,11		0,44	0,22
<i>Polypheus pediculus</i>							0,01		0,02	0,48		3,67
<i>Diaphanosoma brachyurum</i>										0,48		
<i>Holopedium gibberum</i>	0,92		1,23		1,55		1,95		2,32	0,48	3,14	0,81
<i>Daphnia</i> sp.	1,40		2,29		12,14		19,18		24,78		9,71	7,00
<i>Bosmina longirostris</i>	1,87		1,77		2,25		3,66		3,70	0,96	21,43	9,16
Copépodes												
Nauplii de copépodes	9,19	40,00	17,11	37,56	11,92	29,85	3,31	0,58	2,59		0,15	
<i>Epischura lacustris</i>	0,20		0,78		0,89		1,52	2,43	1,43	10,10	0,41	2,15
<i>Limnocalanus macrurus</i>											0,06	0,02
<i>Diaptomus minutus</i>	14,40		17,44	0,67	19,45	4,31	22,12	12,77	17,93	26,92	56,97	72,07
<i>Cyclops scutifer</i>	12,89	60,00	21,23	58,48	24,72	65,84	31,74	84,22	30,91	60,58	7,22	4,90
Nombre de TD analysé		84		391		428		128		44		35
Nombre de TD, 1 proie et +		3		130		259		81		43		33
% incidence d'alimentation		3,57		33,25		60,51		63,28		97,73		94,28
Nombre total de proies		5		222		727		350		209		5 941
Nombre moyen de proies		0,06		0,57		1,70		2,73		4,75		169,74

Indice «d'électivité» (E)

La figure 13 présente l'indice «d'électivité» (E) des éperlans arc-en-ciel, pour leurs principales proies, à différents stades de développement, en 1998 et 1999. Tout d'abord, on constate que le protozoaire *Codonella cratera* est sélectionné positivement par les individus des stades C, D et E en 1998 seulement. Aucune espèce de rotifères ne possède un indice «d'électivité» positif, à l'exception des espèces *Keratella cochlearis* et *Sinantherina socialis* par les éperlans du stade C en 1998.

Pour les deux années, aucune espèce de cladocères n'est sélectionnée positivement par les éperlans avant le stade I. Les nauplii de copépodes sont préférés par les éperlans des stades C, D et E pour les deux années d'échantillonnage. En 1998, le copépode *Diaptomus minutus* a un indice «d'électivité» négatif pour l'ensemble des stades tandis qu'en 1999, il est préféré par les éperlans des stades G et I. Le cyclopoïde *Cyclops scutifer* est toujours sélectionné positivement par les éperlans, à l'exception des stades C et J en 1998 et du stade I en 1999. Finalement, le calanoïde *Epishura lacustris* apparaît dans la sélection des éperlans au stade F mais son indice de sélection est plus élevé aux stades G et I.

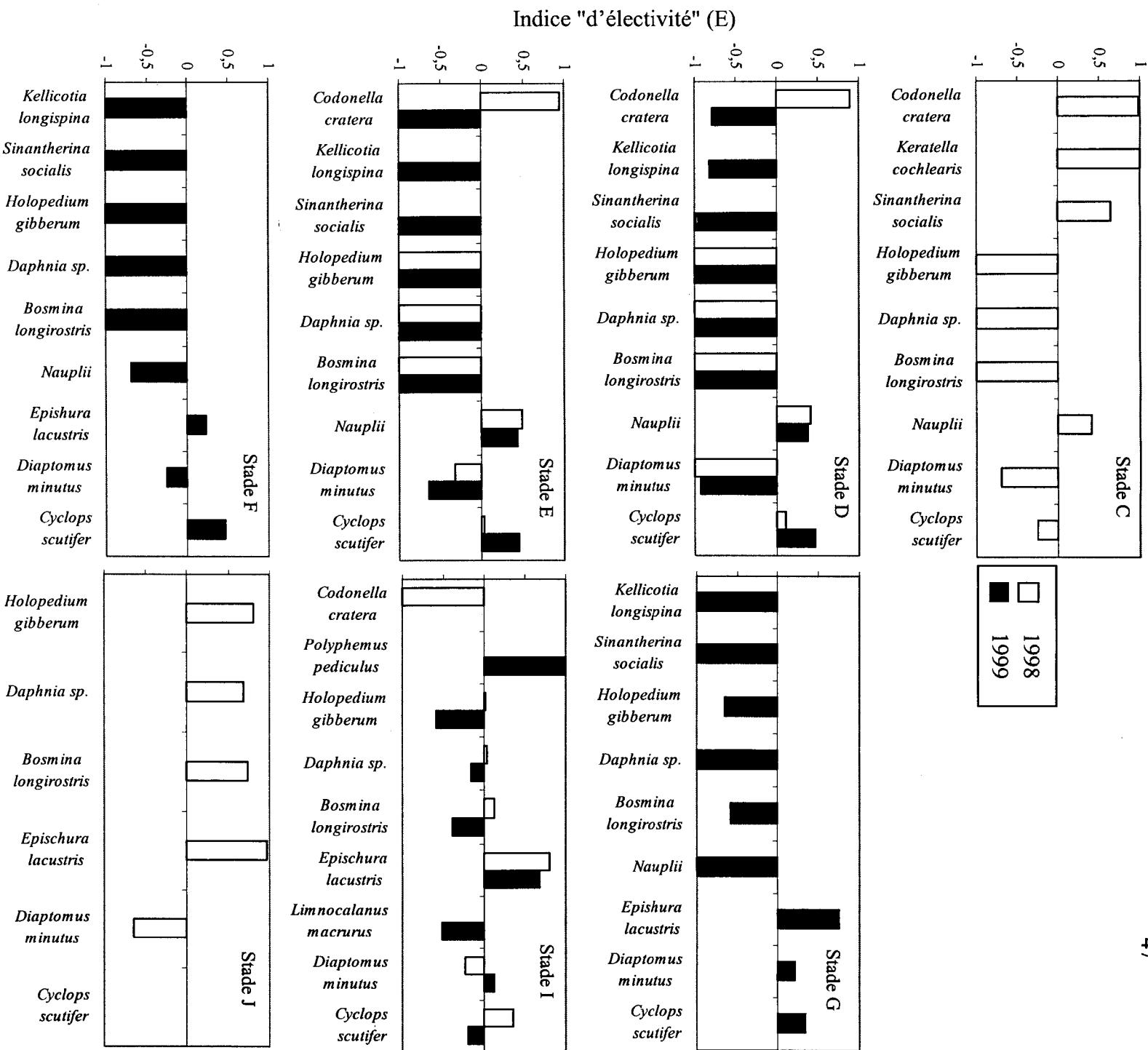


Figure 13: Indice «d'électivité» (E) des éperlans arc-en-ciel, pour leurs principales proies, à différents stades de développement, en 1998 (bâtonnets blancs) et 1999 (bâtonnets noirs), au lac Saint-Jean

Sélection des proies selon leur taille

Les figures 14, 15 et 16 présentent l'indice «d'électivité» (E) des éperlans arc-en-ciel en fonction des différents stades de développement pour chacune des espèces zooplanctoniques. À chaque catégorie d'organismes (copépodes, cladocères, rotifères et protozoaires), les espèces ont été placées en ordre croissant de longueur, du haut vers le bas et de gauche vers la droite. L'examen des graphiques de ces figures permet de constater que la sélection des proies varie selon les stades de développement des éperlans et selon les espèces.

Les nauplii de copépodes ont un indice «d'électivité» variant autour de +0,4 aux stades C, D et E, pour les deux saisons d'échantillonnage (figure 14). À partir du stade F, les nauplii sont délaissés (en 1999, $E = -0,7$) et sont rejétés complètement par les stades G, I et J. En ce qui concerne *Diaptomus minutus*, sa sélection augmente en fonction des stades de développement, jusqu'au stade G (en 1999, $E = +0,2$). Par la suite, son indice devient négatif pour les stades I et J en 1998. Le cyclopoïde *Cyclops scutifer* est celui dont la sélection varie le moins par rapport aux stades de développement. L'indice «d'électivité» oscille entre $-0,25$ et $+0,47$. Le calanoïde *Epishura lacustris* est une espèce choisie par les éperlans à partir du stade F (en 1999, $E = 0,23$). Finalement, le plus grand copépode, soit *Limnocalanus macrurus*, est sélectionné uniquement par les juvéniles, c'est-à-dire par les stades I (en 1999, $E = -0,53$) et J (en 1998, $E = +0,64$).

Du côté des cladocères, ils sont rejetés totalement par les éperlans des stades A à F inclusivement (figure 15). Au stade G, *Bosmina longirostris*, *Polyphemus pediculus* et *Holopedium gibberum* sont les seules espèces à ne pas être rejetées totalement par les éperlans ($E = -0,66$, $E = +0,91$ et $E = -0,59$ respectivement). Les *Daphnia* sp. et les *Leptodora kindtii* sont rejetées complètement par les éperlans, sauf par ceux des stades I et J. Les deux proies ayant l'indice «d'électivité» le plus élevé aux stades I et J sont *P. pediculus* et *L. kindtii*.

En ce qui concerne le protozoaire *Codonella cratera*, il est fortement choisi par les éperlans des stades C, D et E en 1998 (figure 16). Par contre, il est complètement rejeté par l'ensemble des stades en 1999, à l'exception du stade D où l'indice «d'électivité» est de $-0,78$. En considérant l'ensemble des groupes de zooplancton, les rotifères sont les moins sélectionnés par les éperlans (figure 16). Ce n'est qu'au stade C, en 1998, qu'on remarque une sélection positive pour les espèces *Keratella cochlearis* et *Sinantherina socialis*.

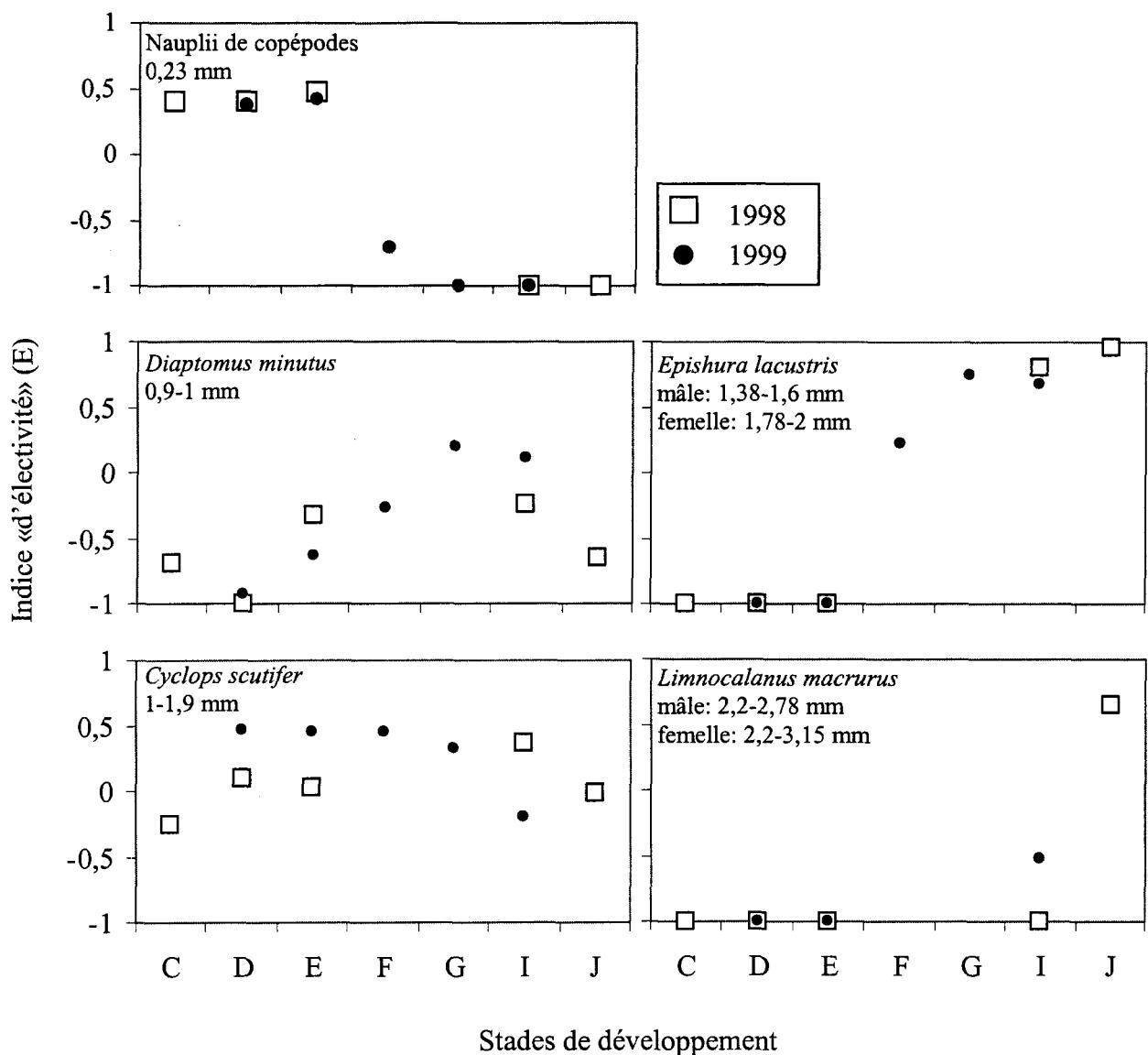


Figure 14: Indice «d'électivité» (E) des éperlans arc-en-ciel selon leur stade de développement pour différentes espèces de copépodes et les nauplii de copépodes en 1998 (carrés blancs) et 1999 (cercles noirs), au lac Saint-Jean. Les longueurs des organismes zooplanctoniques sont tirées de Ward et Whipple (1966) et de Pennak (1978).

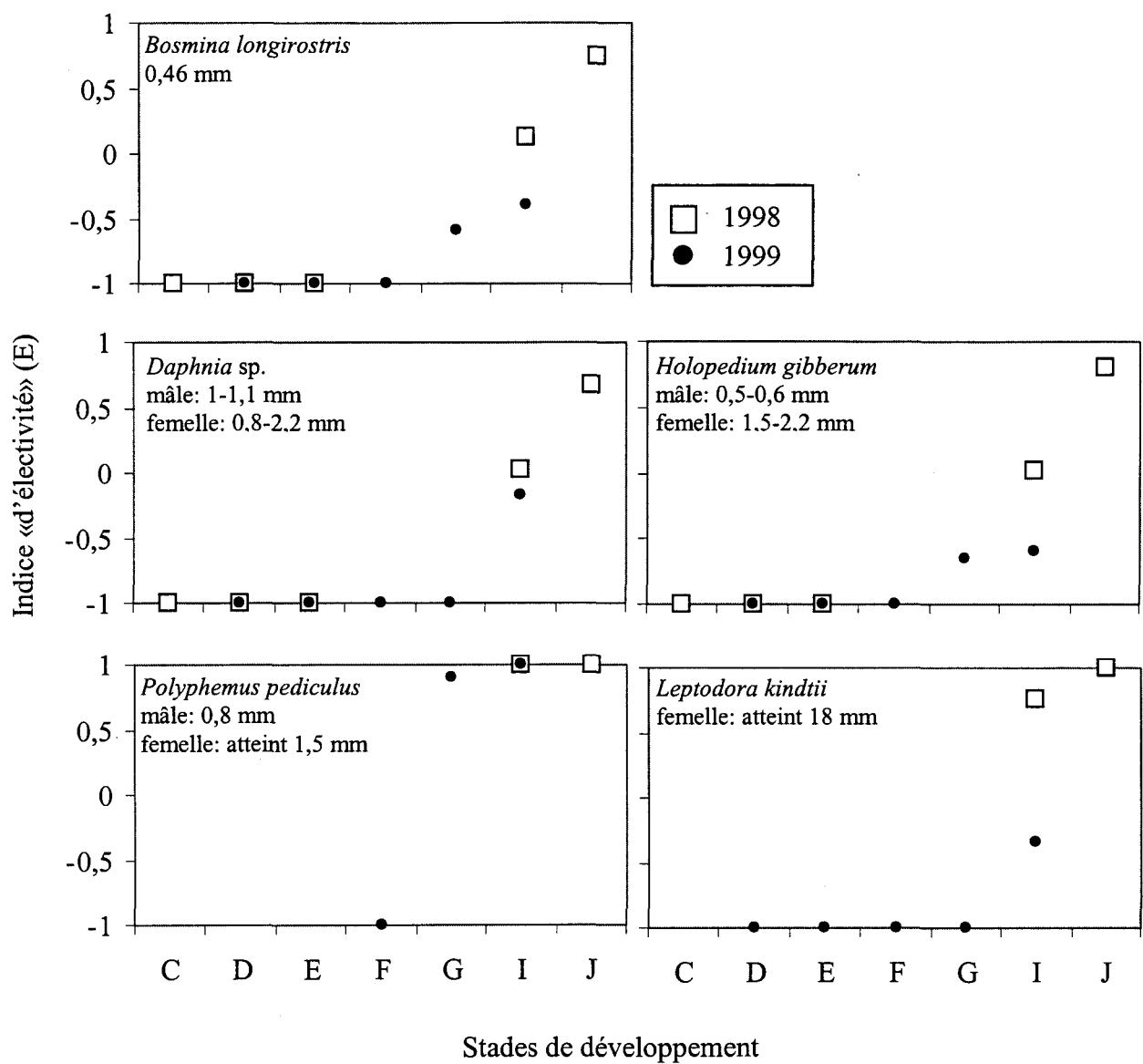


Figure 15: Indice «d'électivité» (E) des éperlans arc-en-ciel selon leur stade de développement pour différentes espèces de cladocères en 1998 (carrés blancs) et 1999 (cercles noirs), au lac Saint-Jean. Les longueurs des organismes sont tirées de Ward et Whipple (1966) et de Pennak (1978).

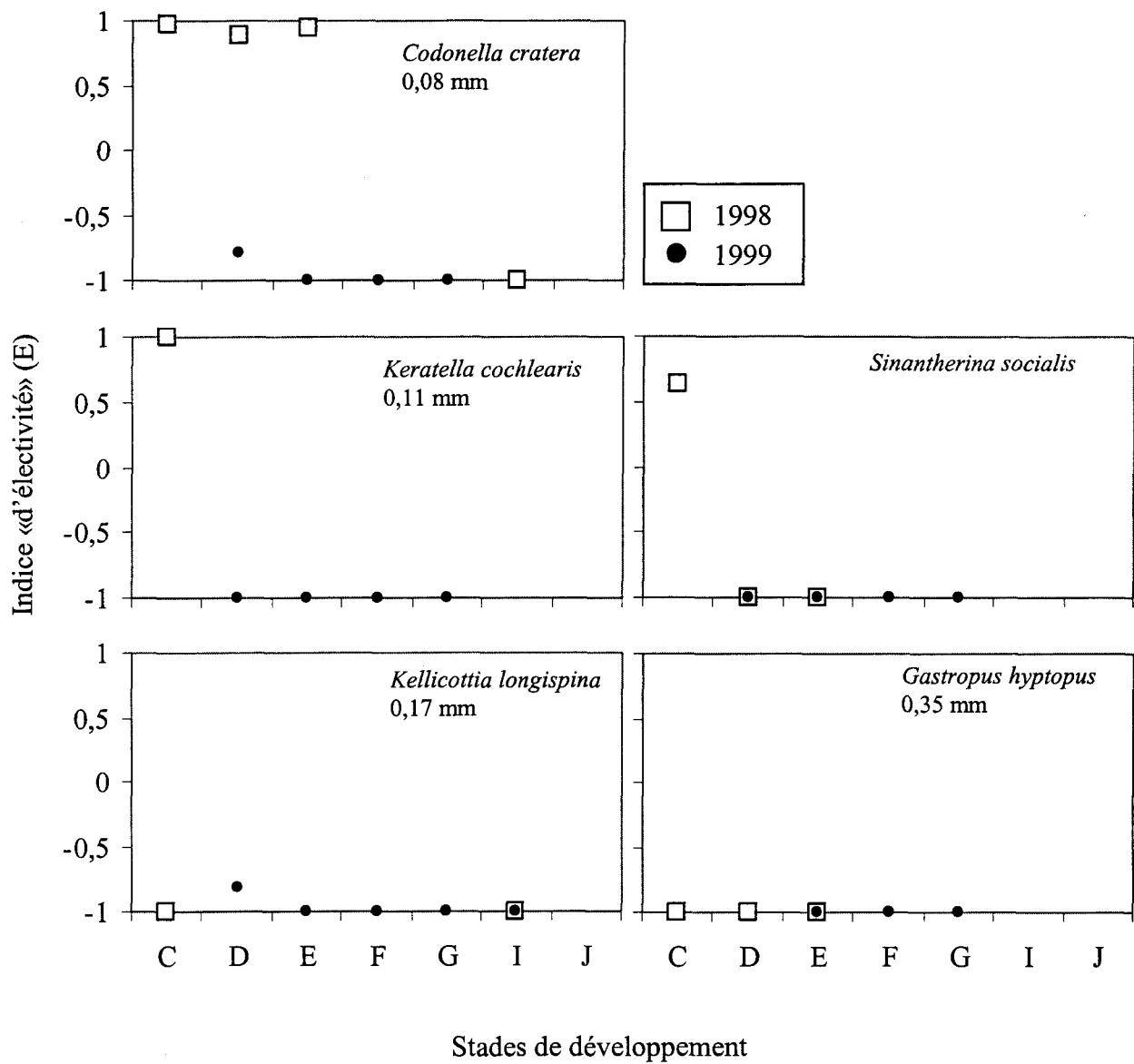


Figure 16: Indice «d'électivité» (E) des éperlans arc-en-ciel selon leur stade de développement pour différentes espèces de rotifères et le protozoaire *Codonella cratera* en 1998 (carrés blancs) et 1999 (cercles noirs), au lac Saint-Jean. Les longueurs des organismes sont tirées de Ward et Whipple (1966) et de Pennak (1978).

3.3.4.3 Succès d'alimentation

Les graphiques a et b (figure 17) présentent le nombre de proies ingérées par les éperlans arc-en-ciel en fonction de leur longueur totale en 1998 et 1999 respectivement. On constate pour les deux années d'échantillonnage que le nombre de proies ingérées augmente avec la longueur des éperlans. Les valeurs de R^2 sont de 0,63 en 1998 et de 0,53 en 1999 avec un même «p» significatif, $< 0,0001$. Ces régressions ont permis de calculer le succès d'alimentation des éperlans arc-en-ciel en 1998 (graphique c) et 1999 (graphique d). On remarque que la répartition des points dans ces graphiques forment une bande horizontale (Scherrer, 1984).

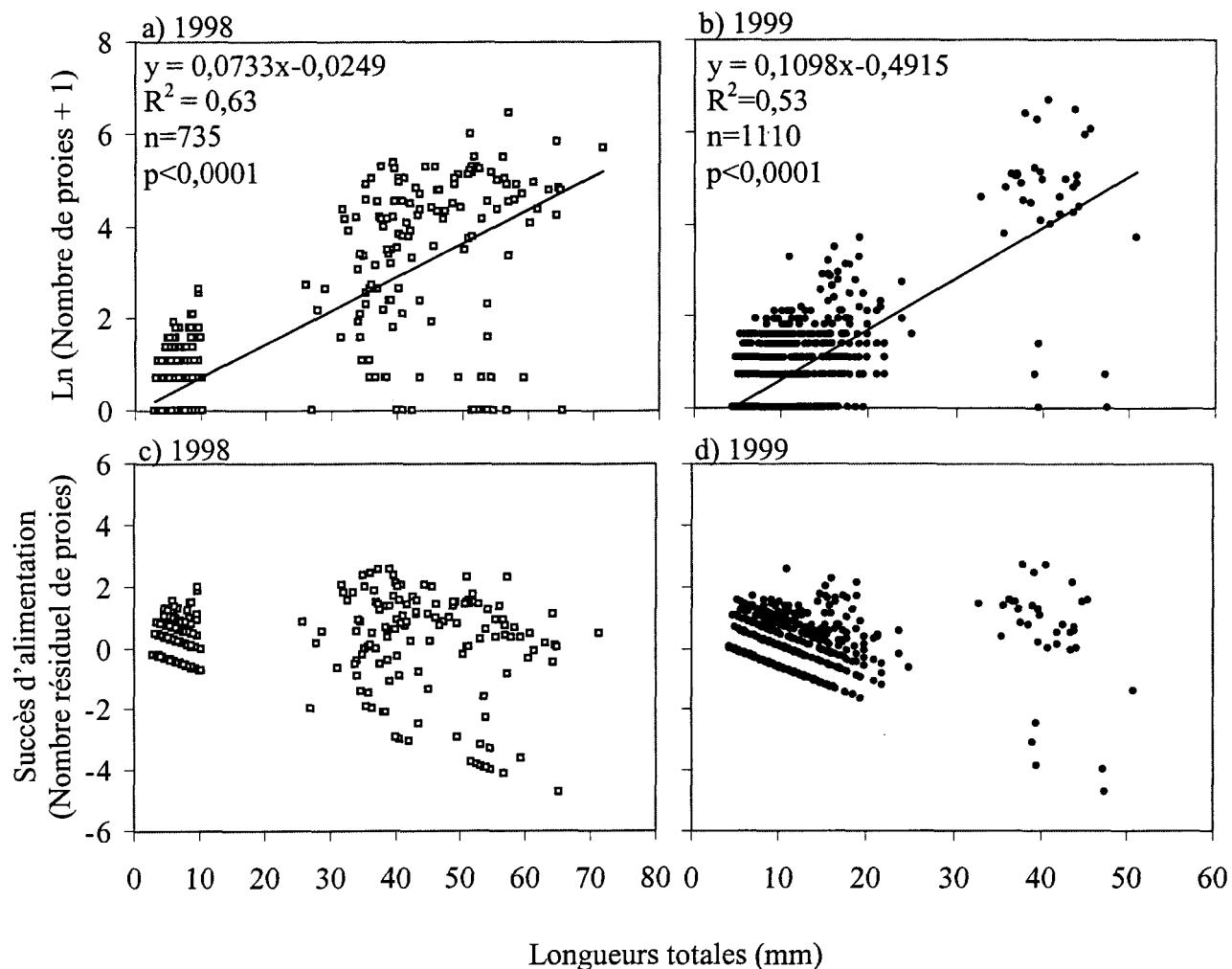


Figure 17: Régressions du logarithme du nombre de proies ingérées (a et b) et des résidus de la régression (c et d) des éperlans arc-en-ciel des stades C à J en 1998 et 1999, au lac Saint-Jean.

Distribution

Le succès d'alimentation moyen des éperlans arc-en-ciel en fonction du type de stations (riveraines ou pélagiques), en 1998 et 1999, est présenté à la figure 18. On constate que le succès d'alimentation est significativement plus élevé aux stations pélagiques que riveraines, pour les deux saisons d'échantillonnage. En 1998 et 1999, les valeurs de «p» sont respectivement de 0,03 et 0,0004.

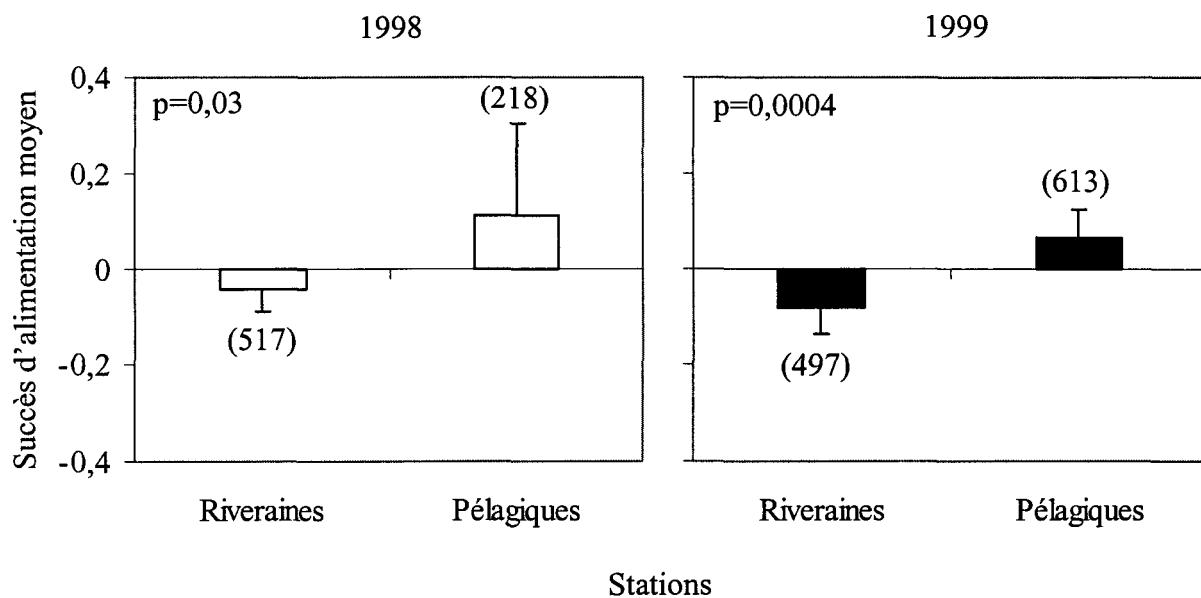


Figure 18: Succès d'alimentation moyen des éperlans arc-en-ciel en fonction des stations riveraines et pélagiques en 1998 et 1999, au lac Saint-Jean. Les barres verticales représentent l'intervalle de confiance à 95%. Les chiffres entre parenthèses correspondent au nombre d'échantillons.

Heure

Le succès d'alimentation moyen des éperlans arc-en-ciel en fonction de l'heure est présenté à la figure 19. En 1998 et 1999, le succès d'alimentation des larves d'éperlan, durant le jour, oscille autour de 0 pour la période s'étendant de 8:00 à 14:00 h. Par la suite, il diminue à -0,3, à 16:00 h et tend à augmenter jusqu'à la tombée de la nuit. Le succès d'alimentation des éperlans juvéniles, durant la nuit, diminue en fonction de l'heure au cours des deux saisons. La courbe tracée pour l'année 1998 nous donne une valeur de R^2 de 0,88, indiquant une forte relation entre la diminution du succès d'alimentation et l'avancement de la nuit.

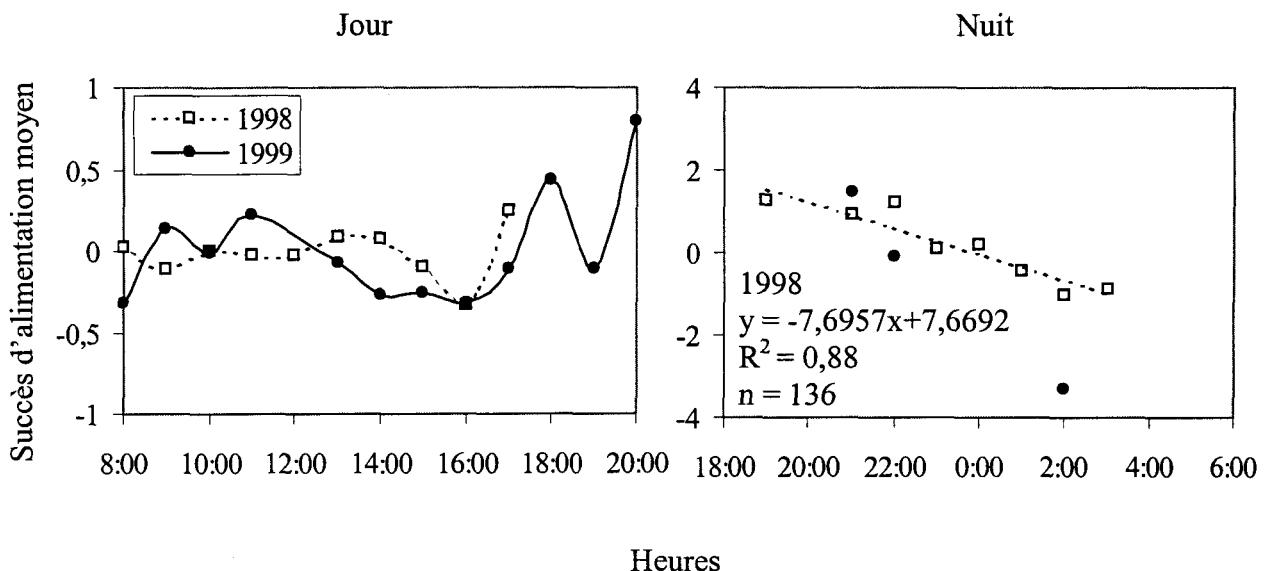


Figure 19: Succès d'alimentation moyen des éperlans arc-en-ciel en fonction de l'heure en 1998 (carrés blancs, ligne pointillée) et 1999 (cercles noirs, ligne continue), de jour et de nuit, au lac Saint-Jean.

Température et date

Le succès d'alimentation moyen des éperlans arc-en-ciel en fonction de la température, en 1998 et 1999, est présenté aux graphiques a et b (figure 20). Le test de corrélation n'indique aucune relation entre la température et le succès d'alimentation, pour les deux saisons d'échantillonnage. En 1998, la valeur de «p» est de 0,07 et en 1999, elle est de 0,16.

On retrouve aux graphiques c et d (figure 20) le succès d'alimentation moyen des éperlans arc-en-ciel en fonction de la date, pour la saison d'échantillonnage de 1998 et 1999. On remarque pour les deux années d'échantillonnage un nuage de points aléatoires de la mi-mai à la mi-juin. On constate également une plus grande dispersion des points au début du mois d'août en 1998 et 1999 et à la fin du mois de septembre en 1998. Finalement, aucune relation n'a pu être réalisée entre le succès d'alimentation et la date de capture des éperlans. Soulignons que la date est fortement corrélée à la taille des éperlans et que le succès d'alimentation a éliminé l'effet de la taille.

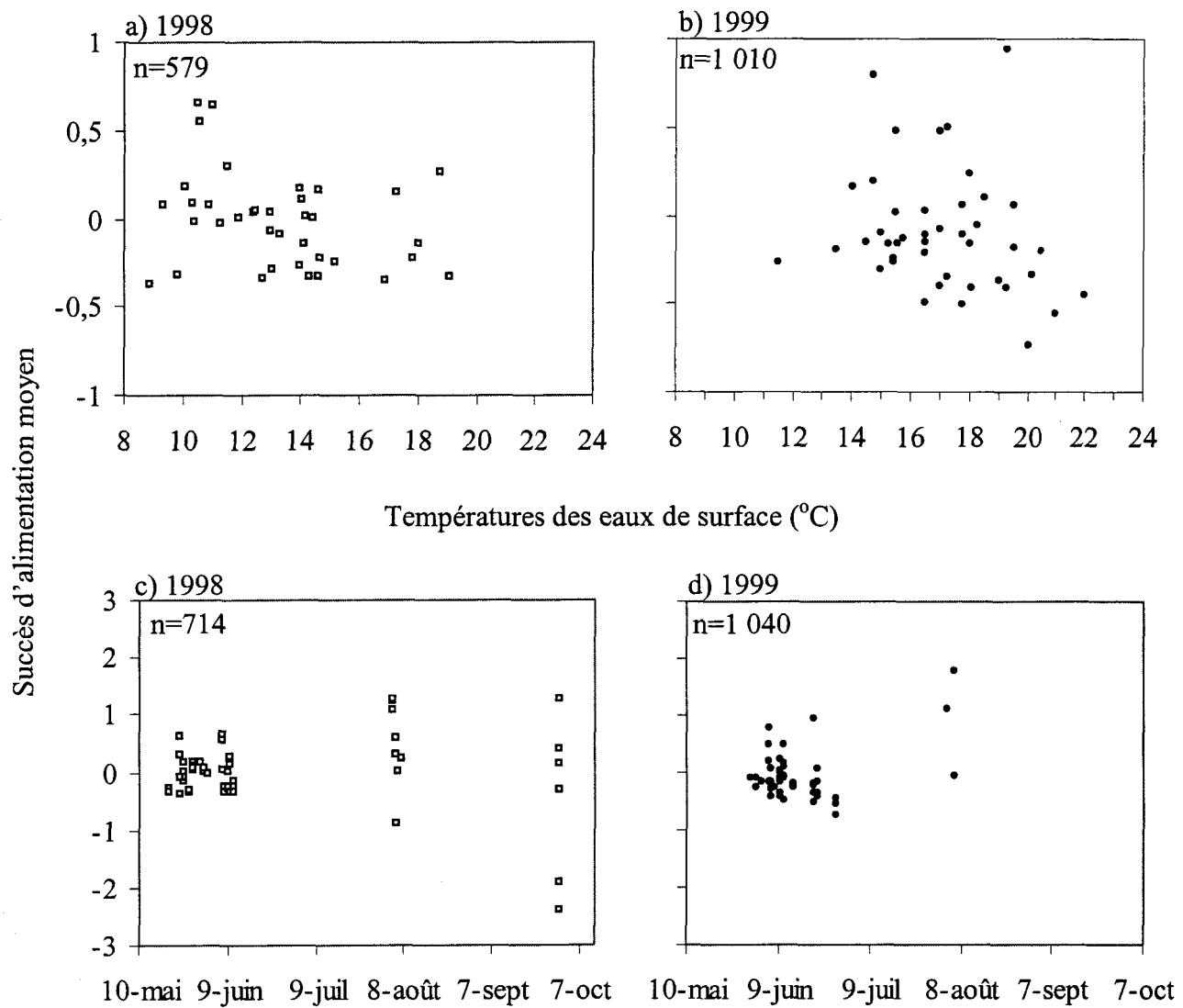


Figure 20: Succès d'alimentation moyen des éperlans arc-en-ciel en fonction de la température des eaux de surface (a et b) et de la date (c et d) en 1998 (carrés blancs) et 1999 (cercles noirs), au lac Saint-Jean.

Limitation de l'alimentation en fonction du nombre de proies

La figure 21 met en relation le succès d'alimentation moyen des éperlans arc-en-ciel des stades C, D et E en fonction de la densité de leurs deux principales proies, soit les nauplii de copépodes et les *Cyclops scutifer*. On constate que la relation est significative pour les stades C et D avec des valeurs respectives de «p» de 0,015 et 0,005. Les succès d'alimentation des stades C et D suivent la courbe d'Ivlev (Ivlev 1961). Pour ces deux stades de développement, le succès d'alimentation augmente rapidement en fonction de la densité des proies et atteint par la suite un plateau.

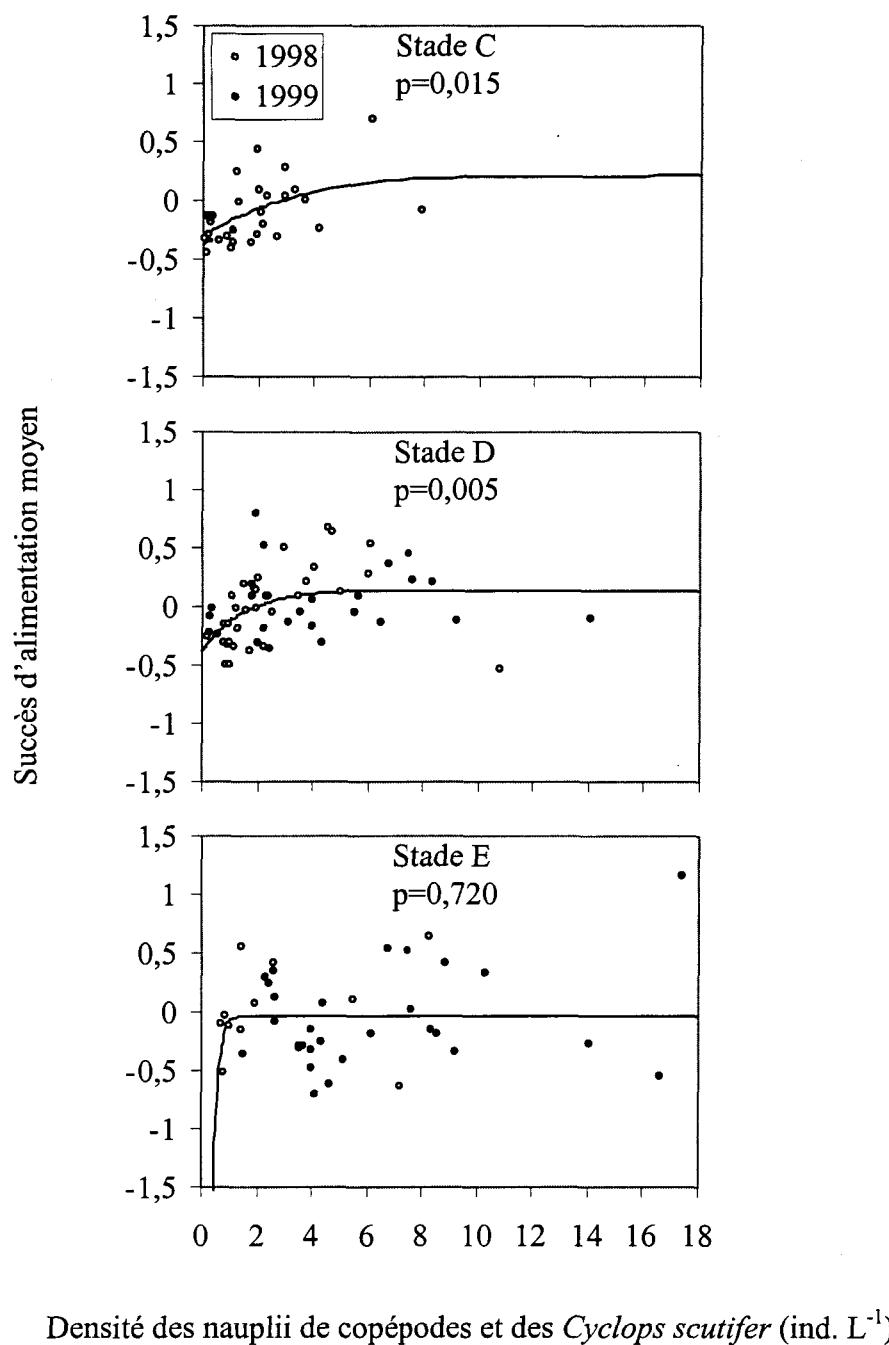


Figure 21: Succès d'alimentation moyen des éperlans arc-en-ciel des stades de développement C, D et E en fonction de la densité des nauplii de copépodes et des *Cyclops scutifer* (ind. L⁻¹) en 1998 (cercles blancs) et 1999 (cercles noirs), au lac Saint-Jean.

3.3.4.4 Succès d'alimentation combiné

Le graphique a (figure 22) présente le nombre de proies ingérées par les éperlans arc-en-ciel en fonction de leur longueur totale en 1998 et 1999. La combinaison des données des deux années d'échantillonnage permet de constater que le nombre de proies ingérées augmente avec la longueur des éperlans. La valeur de R^2 est de 0,57, avec un «p» significatif $< 0,0001$. Cette régression a permis de calculer le succès d'alimentation combiné des éperlans arc-en-ciel (graphique b). On remarque que la répartition des points dans ce graphique forment une bande horizontale (Scherrer 1984).

Le succès d'alimentation combiné moyen des éperlans arc-en-ciel selon leur stade de développement, en 1998 et 1999, est présenté à la figure 23. L'examen de cette figure permet de remarquer que le succès d'alimentation augmente progressivement du stade C au stade E, pour les deux années d'échantillonnage. On constate également que le succès d'alimentation est négatif en 1999 pour les éperlans du stade F et en 1998 pour ceux du stade J.

Le tableau 5 présente les valeurs du test t effectué sur le succès d'alimentation combiné moyen des éperlans arc-en-ciel en 1998 et 1999. On constate que le succès d'alimentation combiné est significativement plus élevé en 1998 qu'en 1999 pour les stades C et D avec des «p» $<0,0001$. Il n'y a pas de différence significative du succès d'alimentation entre les deux années d'échantillonnage pour le stade E. Finalement, le succès d'alimentation est plus élevé en 1999 qu'en 1998 au stade I ($p = 0,0078$).

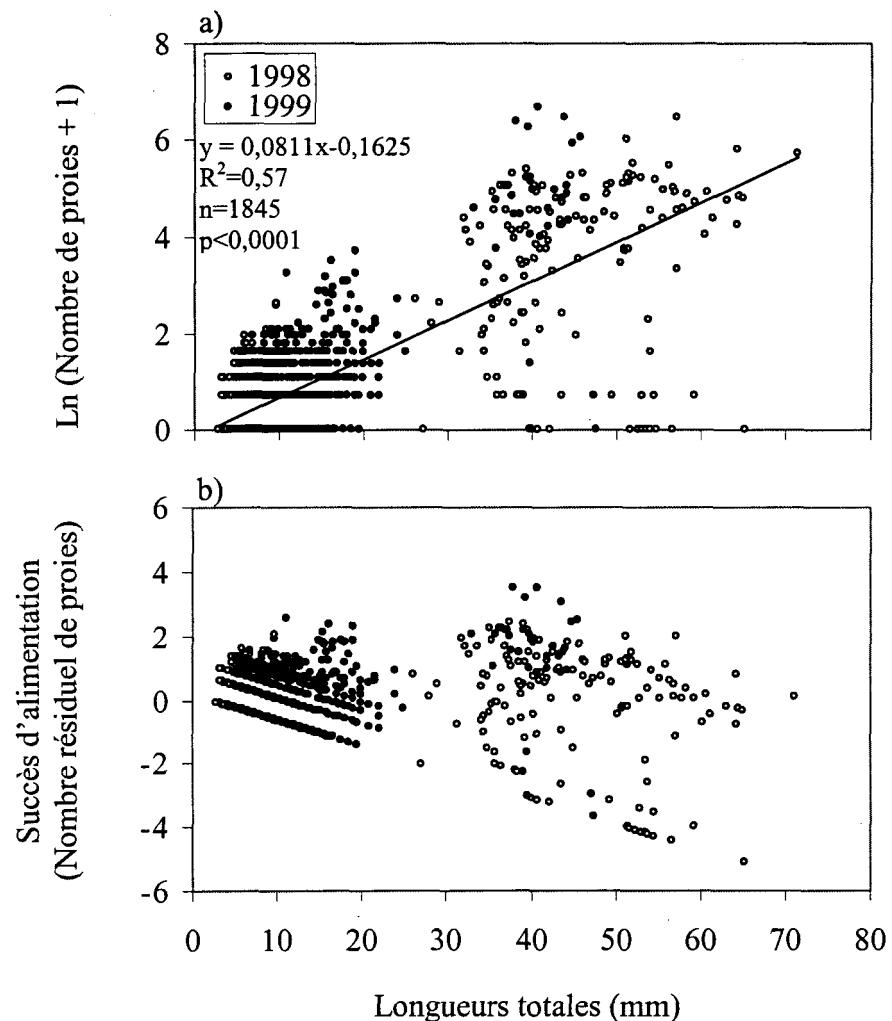


Figure 22: Régression du logarithme du nombre de proies ingérées (a) et des résidus de la régression (b) des éperlans arc-en-ciel des stades C à J en 1998 (cercles blancs) et 1999 (cercles noirs), au lac Saint-Jean.

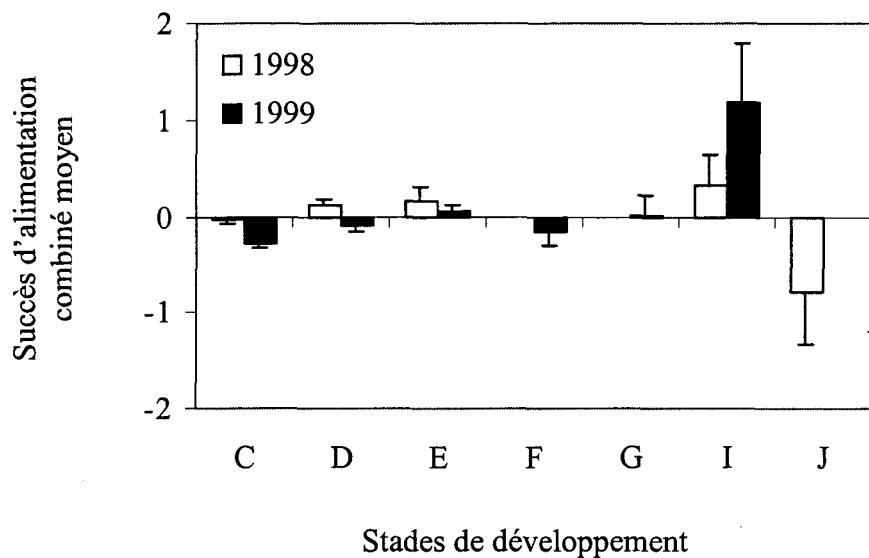


Figure 23: Succès d'alimentation combiné moyen des éperlans arc-en-ciel en relation avec leur stade de développement en 1998 (bâtonnets blancs) et 1999 (bâtonnets noirs), au lac Saint-Jean. Les barres verticales représentent l'intervalle de confiance à 95%.

Tableau 5: Test t sur le succès d'alimentation combiné moyen des éperlans arc-en-ciel en 1998 et 1999, au lac Saint-Jean.

Stades	1998		1999		T	P
	Succès d'alimentation combiné moyen	n	Succès d'alimentation combiné moyen	n		
C	-0,027	229	-0,285	84	5,527	<0,0001
D	0,124	279	-0,103	391	5,831	<0,0001
E	0,166	89	0,042	428	1,580	0,1147
I	0,330	80	1,177	35	-2,708	0,0078

Seuil de signification; 0,0125

CHAPITRE IV

DISCUSSION

4.1 Zooplancton

4.1.1 Composition taxinomique et variations saisonnières

Une liste des organismes zooplanctoniques présents au lac Saint-Jean a été réalisée lors de deux études antérieures. Lalancette (1984) a identifié 17 espèces à Vauvert, entre l'embouchure de la rivière Mistassini et Péribonka. L'ensemble de ces espèces a été retrouvé lors de notre étude, à l'exception des rotifères *Filinia terminalis* et *Polyarthra vulgaris* et des copépodes *Tropocyclops prasinus* et *Diaptomus spatulocrenatus*. Une étude réalisée en 1997, sur l'ensemble de la superficie du lac Saint-Jean, (Côté et al. 2002) a également identifié 17 espèces d'organismes zooplanctoniques. La totalité de ces espèces a été identifiée lors de notre projet, à l'exception des rotifères *Keratella hiermalis* et *Polyarthra vulgaris* et du copépode *Tropocyclops prasinus*. De plus, nous avons identifié quatre espèces encore jamais répertoriées au lac Saint-Jean: les cladocères *Daphnia dubia*, *D. pulex* et *Alona quadrangularis* et le copépode *Limnocalanus macrurus*. Les différences observées, entre ces études, pourraient s'expliquer par les variations dans les dates et les stations d'échantillonnage et par la faible abondance de certaines espèces. D'autre part, l'étude de Côté et al. (2002), a déterminé que l'abondance des organismes zooplanctoniques variait selon la date d'échantillonnage. La densité du zooplancton augmentait du début de juin à la mi-juillet (densité maximale) et diminuait par la suite jusqu'en octobre. Lors de notre étude, nous avons également observé des fluctuations dans l'abondance du zooplancton au cours des périodes d'échantillonnage. Le nombre moyen d'organismes par litre a été plus abondant en juin qu'en mai.

Lors de notre étude, nous avons utilisé un filet à zooplancton ayant une ouverture de maille de 150 µm. La densité des organismes plus petits que 150 µm a pu être sous-évaluée tels, les premiers stades de nauplii de copépodes, le protozoaire *Codonella cratera* et certains rotifères. D'ailleurs, la forte abondance des rotifères répertoriés au lac Saint-Jean dans le travail de Desgagné (1999), où un échantillonneur Schindler-Patalas a été utilisé pour prélever les échantillons, nous laisse supposer qu'ils ont été sous-évalués.

4.1.2 Abondance et distribution des principales proies de l'éperlan arc-en-ciel

L'impact de la prédation des jeunes poissons de l'année sur les communautés de zooplancton varie annuellement et selon la saison. Leur plus grande influence sur le zooplancton peut survenir au milieu de l'été et diminuer par la suite, étant donné que la population de jeunes poissons ait diminué par les prédateurs piscivores (Mills et Forney 1983). Les larves de poissons (ayant une longueur totale entre 4 et 20 mm) peuvent exercer une pression de prédation significative sur les rotifères, les petits cladocères (*Bosmina* spp.) et les jeunes stades de développement des copépodes (nauplii et copépodite) dû à leur densité élevée (Keast 1980, Cryer et al. 1986, Whiteside 1988, DeVries et Stein 1992, Welker et al. 1994).

La densité moyenne des quatre principales proies d'éperlan arc-en-ciel (*Bosmina longirostris*, nauplii de copépodes, *Diaptomus minutus* et *Cyclops scutifer*) était près de deux fois moins importante en 1998 (5,06 ind. L⁻¹) qu'en 1999 (8,7 ind. L⁻¹), tandis que le

nombre moyen d'éperlans de l'année était dix fois plus abondant en 1998 (2044 éperlans 1000 m^{-3}) qu'en 1999 (188 éperlans 1000 m^{-3}). Du côté des autres espèces de poissons de l'année (perchaude, doré jaune, cisco de lac, grand corégone, lotte, omisco, mené émeraude, raseux-de-terre noir, fouille-roche et chabot sp.), capturés en même temps que les éperlans arc-en-ciel, leur abondance est demeurée sensiblement la même entre 1998 (43 larves de poisson 1000 m^{-3}) et 1999 (47 larves de poisson 1000 m^{-3}). La densité élevée des éperlans arc-en-ciel en 1998 pourrait peut être expliquer en partie la plus faible abondance du zooplancton observé au cours de cette saison d'échantillonnage.

Une étude effectuée au lac Michigan a déterminé que le taux élevé de prédation, exercé par un grand nombre de perchaudes, avait fait diminuer considérablement la biomasse du zooplancton (Evans 1985). Une autre étude effectuée au lac Wononskopomuc, au Connecticut, a démontré que le changement dans la composition du zooplancton et dans la distribution de taille était causé par la prédation des gaspareaux (Warshaw 1972). Au Wisconsin, dans le lac Crystal, la consommation par les éperlans a pu être responsable du déclin des *Diaptomus* au début de l'été 1996 (Hrabik et al. 2001).

On a retrouvé en moyenne huit organismes zooplanctoniques par litre (les quatre principales proies des éperlans) aux stations riveraines (1999) et pélagiques (1998 et 1999). Alors qu'en 1998, aux stations riveraines, une moyenne de seulement trois individus ont été retrouvés. Cette plus faible abondance pourrait être expliquée par une plus grande prédation exercée par les éperlans de l'année, sur le zooplancton, qui étaient

significativement plus élevés aux stations riveraines (1 115 éperlans 1000 m⁻³) que pélagiques (191 éperlans 1000 m⁻³) en 1998.

4.2 Éperlan arc-en-ciel

4.2.1 Abondance et distribution

Comme nous l'avons déjà mentionné, les éperlans arc-en-ciel de l'année ont été dix fois plus abondant au lac Saint-Jean en 1998 comparativement à 1999, tandis que les autres espèces de poissons de l'année, capturés en même temps que les éperlans, ont connu une densité semblable pour les deux années. Le problème au niveau du recrutement semble donc être propre aux éperlans. Il faudrait toutefois avoir plus de deux ans de données sur la densité des jeunes éperlans avant de parler de problème au niveau du recrutement. Par contre, le suivi d'abondance des éperlans juvéniles, au mois d'août, de 1996 à 2001, indique une diminution inquiétante des stocks d'éperlan arc-en-ciel du lac Saint-Jean. Le nombre moyen d'éperlans (1000 m^{-3}) est passé de 29,42 en 1996 à 0,17 en 2001 (Données non publiées, Michel Legault, FAPAQ).

Les jeunes éperlans arc-en-ciel ont été retrouvés en plus grand nombre aux stations riveraines que pélagiques, mais seulement en 1998. On ne peut toutefois pas comparer les deux années entre elles puisque les stations riveraines de 1998 couvraient les rives ouest du lac Saint-Jean, tandis qu'en 1999 elles couvraient les rives est du lac. Or, les seuls sites potentiels de frayères d'éperlans ont été trouvés dans les rivières débouchant sur les rives ouest du lac (Données non publiées, Michel Legault, FAPAQ). Il n'est donc pas surprenant d'avoir capturer une plus faible quantité de larves en 1999 aux stations riveraines.

4.2.2 Date de capture

Lors de notre étude, nous avons pris la température des eaux de surface en lac. Ainsi, nous avons un certain indice pour expliquer la durée des stades de développement des éperlans capturés en lac. La chute de température observée en 1998 à la fin mai (10°C), a pu provoquer un ralentissement dans le développement et la croissance des œufs et des larves d'éperlan, suite à un développement rapide favorisé par de chaudes températures en début mai (18°C). Le frai a également pu être prolongé par ces changements de température. Pour 1999, le développement et la croissance des œufs et des éperlans ont dû être plus constants étant donné que les températures n'ont pas connu des variations importantes, mais une augmentation graduelle. Ceci permettrait donc d'expliquer la capture d'éperlans, des stades de développement A à D, dans le lac sur une période deux fois plus longue en 1998 comparativement à 1999.

De plus, on a enregistré en 1998, la période de dévalaison des larves d'éperlan des stades A et B dans les rivières Asuapmushuan et Péribonka. Elle s'est étendue sur dix jours, tandis que l'année suivante, la dévalaison des larves de ces mêmes stades a eu lieu durant quatre jours seulement, dans les rivières Asuapmushuan et Mistassini (Données non publiées, Karine Gagnon, Département des Sciences Fondamentales, UQAC).

Le suivi de la dérive des larves d'éperlan arc-en-ciel et des reproducteurs sur les principaux tributaires du lac Saint-Jean (Ouiatchouan, Ashuapmushuan, Péribonka et Mistassini) a eu lieu de 1997 à 2000. Durant ces quatre années, la reproduction a eu lieu

durant le mois de mai et l'éclosion des larves de la mi-mai à la mi-juin (Données non publiées Michel Legault FAPAQ). Ces données de frai et d'éclosion sont similaires à ce que l'on retrouve dans la littérature sur les populations d'éperlan d'eau douce (Scott et Crossman 1974, Bernatchez et Giroux 1991).

4.2.3 Croissance

Dans la plupart des études (Siefert 1972, Tin et Jude 1983, Courtois et Dodson 1986, Naesje et al. 1987, Dauvin et Dodson 1990, Young et Davis 1990, Urban et Brandt 1993, Anderson 1994, Michaud et al. 1996, DeVries et al. 1998, Jude et al. 1998), la longueur est utilisée pour différencier certaines périodes dans le développement des poissons de l'année. Pour notre projet, nous voulions étudier avec précision le régime alimentaire des larves d'éperlan au début de leur alimentation exogène. Ainsi, l'utilisation de critères morphologiques, tels que ceux de Cooper (1978), a permis d'obtenir cette précision. Comme le montrent nos résultats, la longueur n'est significativement différente qu'à partir du stade E en 1998 et qu'à partir du stade D en 1999. Par contre, la lecture des otolithes des larves d'éperlan aurait permis de calculer leur âge exact en jours (voir Sirois et al. 1998), mais nous n'avions pas les équipements nécessaires à cette réalisation.

Les conditions environnementales tout comme la grosseur des œufs peuvent affecter la taille des larves à l'éclosion (Cooper 1978). La méthode de conservation peut également influencer sur la longueur des larves (Hay 1981, Sirois et al. 1998). Dans notre cas, les larves d'éperlan ont été fixées dans le méthanol à 100%, immédiatement après le chalutage

de dix minutes. On peut donc avancer qu'elles ont certainement connu un rétrécissement ou une élongation dû à leur fixation. Ceci pourrait expliquer que l'on observe des éperlans qui ont une longueur totale plus élevée que d'autres éperlans, en ayant toutefois un stade de développement inférieur à ces petits éperlans.

De nombreuses études en laboratoire sur la température ont démontré qu'elle avait des effets directs sur le métabolisme des larves et subséquemment sur leur croissance (Anderson 1988). L'éclosion ne survient pas à un stade ontogénétique précis, par conséquent l'accélération ou la prolongation thermique affecte quelques caractères morphologiques des larves nouvellement écloses, tels la longueur, la masse du sac vitellin, le patron méristique et la différentiation des mâchoires, lesquels sont importants pour la survie (Braum 1978). Ainsi, les changements de température pourraient également expliquer certaines variations dans les longueurs des larves d'éperlan selon leur stade de développement.

Tout comme Siefert (1972), les larves d'éperlan arc-en-ciel de notre étude ont résorbé leur sac vitellin avant d'atteindre une longueur totale de 7 mm. Dans Auer (1982), les longueurs totales des éperlans ayant un sac vitellin se situent entre 4,1 et 6,0 mm. Ces résultats sont comparables aux nôtres, à l'exception de ceux des larves du stade A en 1999. Toujours selon Auer (1982), les juvéniles ont une longueur totale variant entre 32 et 42 mm. Les éperlans du lac Saint-Jean des stades I en 1998 et 1999 ont une longueur totale moyenne se situant dans cet intervalle. On constate donc qu'en générale, les éperlans du

lac Saint-Jean ont un développement et une longueur totale moyenne comparables aux études antérieures effectuées sur cet osmeridé.

Sirois et Dodson (2000b) ont démontré l'existence d'un lien entre une croissance rapide et la survie des éperlans arc-en-ciel, de l'estuaire du Saint-Laurent, durant leur stade larvaire. Bien que notre étude ne nous permette pas de déterminer significativement le taux de croissance journalière des larves d'éperlan arc-en-ciel, nous avons voulu explorer sommairement ce point. L'âge de juvéniles capturés au mois d'août en 1998 et 1999 a été calculé à l'aide de leur otolith. En 1998 et 1999, les éperlans auraient crû de 0,5 mm/jour. Sirois et Dodson (2000b) ont déterminé une croissance journalière pour les larves d'éperlan du Saint-Laurent, aux mois de juin et juillet, entre 0,16 et 0,35 mm/jour. Tin et Jude (1983) ont évalué la croissance journalière des éperlans du lac Michigan, de la mi-mai à la fin août, entre 0,31 et 0,36 mm/jour. Ainsi, on constate que la croissance journalière observée au lac Saint-Jean est très élevée ou bien qu'il n'y a que les éperlans ayant une telle croissance qui réussissent à survivre. Il serait très intéressant d'explorer plus en profondeur cet aspect.

4.2.4 Alimentation

4.2.4.1 Incidence d'alimentation

L'incidence d'alimentation des larves de poisson est souvent très faible en début d'alimentation (Lasker 1981), mais cette faible incidence semble être caractéristique des espèces ayant de grandes fluctuations d'abondance d'une année à l'autre (McCullough et Stanley 1981). L'incidence d'alimentation a été estimée à 6% (Rosenthal et Hempel 1970) et entre 2% et 6% (Blaxter et Staines 1971) chez le hareng, entre 3% et 5% (Braum 1967)

chez le corégone et à 10% (Hunter 1972) chez l'anchois du Nord. Le succès d'alimentation augmente graduellement, atteignant 90% après trois semaines chez l'anchois (Hunter 1972) et après sept semaines chez le hareng (Blaxter et Staines 1971). Du côté des éperlans arc-en-ciel, McCullough et Stanley (1981) mentionnent des taux variant de 4,4% à 77,8% selon la taille des larves, tandis que Courtois et Dodson (1986) l'ont évalué à 9,4% pour les larves du Saint-Laurent ayant un sac vitellin. Les larves de notre étude, ayant également débuté leur alimentation exogène avant la résorption complète de leur sac vitellin (stades A, B et C), ont une incidence d'alimentation de 18% en 1998 et de 3% en 1999. Tout comme Dauvin et Dodson (1990) l'incidence d'alimentation des éperlans de l'année du lac Saint-Jean augmente en fonction de la longueur (du stade de développement). Au début de l'alimentation (stade C), l'incidence pour les deux années compilées est de 20%, mais après trois semaines (stade G), il augmente à 98%. Courtois et Dodson (1986) expliquent l'augmentation du pourcentage d'incidence d'alimentation des larves d'éperlan, au cours de l'été, par l'augmentation de la taille des larves. Celles de grandes tailles ont en effet développé une meilleure capacité natatoire (Rosenthal et Hempel 1970), ce qui leur procure une plus grande efficacité pour la capture des proies; elles sont également plus résistantes, donc moins susceptibles de régurgiter entièrement leur contenu stomacal lors de l'échantillonnage et de la fixation.

4.2.4.2 Sélectivité

Zooplancton et diète des éperlans arc-en-ciel

Les raisons pour lesquelles une larve de poisson préfère un type de proie en particulier ne sont pas connues. Une hypothèse suggère que la larve préfère des proies

relativement immobiles, plus faciles ainsi à capturer (Drenner et al. 1978). Alors qu'une autre hypothèse veut que la larve préfère des proies relativement actives, plus faciles à repérer (Peterson et Ausubel 1984).

Les travaux de Braum (1967) sur l'alimentation des larves de corégone, au cours des 25 jours suivant leur début d'alimentation exogène, ont démontré que la principale proie consommée est le copépode *Cyclops* sp., suivi de *Diaptomus* sp.. Il explique cette préférence par le fait que la réaction de fuite de *Cyclops* sp. stimule la larve et le rend plus facile à la capture. Parmi les cladocères, seule *Bosmina* sp. intéresse les larves de corégone et les *Daphnia* sont habituellement rejetées. Dans Michaud et al. (1996), la principale proie des larves de morue arctique, ayant moins de 10 mm, est le nauplius de copépodes (69%-80%). Gordon (1961) a constaté que le cladocère *Holopedium* sp. est consommé par les éperlans de l'année uniquement en août et en septembre et dans un faible pourcentage (4%-5%). Dans notre étude, *Cyclops scutifer* est la principale proie des éperlans des stades D, E, F et G (31%-84%), des éperlans ayant entre 4 et 25 jours. Le copépode *Diaptomus minutus* est également important dans le régime alimentaire des éperlans des stades E, F et G (4%-27%). Les *Daphnia* sp. sont absents totalement du tube digestif des larves de moins de 25 jours (stades C, D, E, F et G) tandis que *B. longirostris* n'apparaît dans l'alimentation des éperlans qu'à partir du stade G. Les nauplii de copépodes sont très importants pour les éperlans des stades C, D et E; ils constituent 30% à 40% de leur diète. Nous avons également constaté un faible pourcentage de consommation d'*Holopedium gibberum* par les éperlans capturés au début d'août (stade I) et à la fin septembre (stade J) (0,8%-3,6%).

Tout comme Anderson (1994) l'a observé chez le sébaste, on constate dans la diète des éperlans arc-en-ciel une augmentation du nombre de types de proies au cours de la saison. En effet, en excluant le stade C de 1998, les éperlans se nourrissent de deux types de proies au début de leur alimentation (stade C) et en consomment cinq types une fois juvénile (stade I).

Parasites

Traditionnellement, les déterminants biotiques majeurs de la structure d'une communauté animale étaient assumés par la compétition et la prédation. Une théorie récente, tirée à partir d'études expérimentales et de terrain, indique que le parasitisme serait également important (Minchella et Scott 1991).

La quasi-totalité des juvéniles du lac Saint-Jean étaient parasités en 1998 (98,8%) et l'ensemble l'était en 1999 (100%) par le cestode *Proteocephalus* sp.. Ce haut taux de parasitisme est comparable à celui décrit par Dauvin et Dodson (1990) dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent où ils ont observé que plus de 95% des larves d'éperlan arc-en-ciel étaient parasitées par un cestode. Il est difficile d'évaluer pour notre étude l'impact des parasites sur le succès d'alimentation des éperlans puisqu'il nous est impossible de comparer des succès d'alimentation d'éperlans non parasités avec ceux des éperlans parasités. On peut supposer par contre que ces cestodes nuisent à la croissance des éperlans. Sirois et Dodson (2000a) ont démontré que la diminution de la nutrition, due au parasitisme, était associée à une réduction du taux de croissance des larves d'éperlan arc-en-ciel infestées. En effet, les endoparasites peuvent augmenter le taux d'évacuation des

larves par la consommation d'une proportion du contenu de leur tube digestif (Heath et Nicoll 1991). Également, les parasites affectent le facteur de condition (Yamashita 1979) et le comportement (Rosenthal 1967) des larves de poissons, lesquelles peuvent diminuer leur activité de nutrition (Sirois et Dodson 2000a). De plus, les larves parasitées peuvent être physiquement incapables d'ingérer plus de nourriture, dû au manque d'espace dans leur intestin (Sirois et Dodson 2000a). Il serait fort intéressant de pousser plus loin l'impact du parasitisme chez les juvéniles d'éperlans arc-en-ciel du lac Saint-Jean.

Indice «d'électivité» E

En comparant l'indice «d'électivité» des éperlans du stade I du lac Saint-Jean avec celui d'Urban et Brandt (1993), obtenu de juvéniles d'éperlan arc-en-ciel capturés de nuit au lac Ontario au mois d'août, on observe certaines similitudes. Tout d'abord, les éperlans de notre étude montrent une sélection positive pour le cyclopoïde *Cyclops scutifer* (en 1998) et les calanoïdes (à l'exception de *Limnocalanus macrurus* en 1999 et de *Diaptomus minutus* en 1998). Également, on remarque qu'aucun rotifère n'est sélectionné par les juvéniles dans les deux études.

Des travaux effectués en août par Naesje et al. (1987) sur l'alimentation de juvéniles d'*Osmerus eperlanus*, dans le lac Mjosa en Norvège, ont révélé un rejet complet du copépode *L. macrurus* au cours de la première année d'étude et une sélection positive pour l'année suivante. Dans notre étude, *L. macrurus* a également été rejeté par les juvéniles du mois d'août de l'année 1999. Tout comme nous, Naesje et al. (1987) ont observé que les

juvéniles du mois d'août sélectionnent fortement le cladocère *Polyphemus pediculus* ($E = +1$, dans Naesje et al 1987 et $E = +1$, dans notre étude en 1999).

VanDensen (1985) a montré dans son étude sur *Osmerus eperlanus*, au lac Tjeukemeer aux Pays-Bas, que les éperlans de l'année sélectionnaient de petits cyclopoïdes seulement au début de juin. Pour notre part, nous avons trouvé que les éperlans sélectionnent préférentiellement le cyclops *C. scutifer* au mois de juin mais également jusqu'au début du mois d'août.

Sélection des proies selon leur taille

La sélection de proies particulières par les larves de poisson peut dépendre de l'espèce mais aussi de la taille de la proie. Les larves sélectionneront alors des proies en fonction de la grandeur d'ouverture de leur bouche, comme l'ont démontré de nombreuses études (DeVries 1998, Lasker 1981). Ainsi, durant le temps où l'ouverture de leur bouche est limité, la disponibilité de petits organismes zooplanctoniques vulnérables devrait influencer le succès d'alimentation des larves (Rosenthal et Hempel 1970, Wong et Ward 1972, Zaret 1980, Hansen et Wahl 1981). Par contre, se nourrir de plusieurs petites proies (nauplii de cyclopoïdes) par rapport à de grandes proies (nauplii de calanoïdes) est généralement considéré comme étant désavantageux à la croissance et à la survie des larves de poissons (Pyke 1984).

Tout comme Anderson (1994) et VanDensen (1985), on constate une augmentation dans la grandeur des proies au fur et à mesure que les larves gagnent en taille. Les éperlans

délaissent les nauplii de copépode, les protozoaires et les rotifères au profit de plus gros calanoïdes et de cladocères.

Sieffert (1972) a calculé l'indice «d'électivité» pour les principaux organismes zooplanctoniques consommés par les larves d'éperlan arc-en-ciel, ayant une longueur totale de 5 mm à 26,9 mm, capturées dans la Baie de Saint-Louis au lac Supérieur. Cet intervalle de taille correspond aux larves des stades A à G du lac Saint-Jean. Il a déterminé que les plus petites larves à se nourrir sélectionnaient le *Cyclops bicuspidatus* (longueur: 0,95-1,57 mm) et les nauplii de copépode. Il a constaté qu'à mesure que les larves croissaient, elles rejettent les nauplii, et plus tard le Cyclops *C. bicuspidatus*, au profit des plus grands copépodes calanoïdes. Ces derniers étaient absents du tube digestif des larves de moins de 13 mm. Nos résultats démontrent également que les jeunes larves, des stades C, D et E, sélectionnent préférentiellement les nauplii de copépodes et *C. scutifer* (1-1,9 mm), un cyclops ayant environ la même taille que *C. bicuspidatus*. On a aussi constaté que les larves délaissent les nauplii de copépodes, à partir du stade F (14,7 mm), pour consommer, aux stades F et G, de plus gros calanoïdes, comme *Epishura lacustris*. Par contre, contrairement à Sieffert (1972) où le calanoïde *Limnocalanus macrurus* a été retrouvé dans le tube digestif de larves mesurant entre 17 et 18,9 mm, aucun *L. macrurus* n'a été retrouvé dans le tube digestif des larves avant qu'elles n'aient atteint 39 mm. On peut l'expliquer par l'absence de ce copépode dans le milieu en présence des larves des stades F et G. Le calanoïde *L. macrurus* a été retrouvé dans le milieu en présence des larves des stades C et D, mais à ces stades, les larves étaient trop petites pour pouvoir le consommer.

McCullough et Stanley (1981) ont constaté, comme nous, que la consommation des nauplii de copépodes diminuait au fur et à mesure que la grandeur de la bouche et la longueur des larves d'éperlan augmentaient. Dans cette même étude, il a été déterminé que seul le cladocère *Bosmina* était fréquemment mangé par les larves d'éperlan, même si d'autres cladocères étaient très abondants dans le plancton. Pour notre part, *B. longirostris* s'est avéré être le cladocère le plus consommé par les éperlans et *Polyphemus pediculus*, le plus fortement sélectionné.

4.2.4.3 Succès d'alimentation

Le succès d'alimentation des larves de poissons peut être influencé par la turbulence (Rothschild et Osborn 1988, Sundby et Fossum 1990, MacKenzie et Leggett 1991), la lumière (Dabrowski 1985, Gilbert et al. 1992, Ponton et Fortier 1992, Miner et Stein 1993), la température (Anderson 1988) ou la densité des proies (Fortier et al. 1996). Pour notre projet, nous avons exploré l'ensemble de ces facteurs mais, nous nous sommes surtout attardés à l'impact de la densité de proies sur le succès d'alimentation.

Distribution

Plusieurs études ont démontré que la densité minimale de proies requise pour supporter la croissance et la survie des larves en laboratoire était habituellement plus élevée que la densité de proies dans le milieu (Dower et al. 1997). Rothschild et Osborn (1988) ont été les premiers à avancer l'idée que les micro-turbulences pouvaient générer un mouvement respectif des prédateurs et des proies en addition à leur mouvement respectif qui résulte de leur nage. Ainsi, les turbulences augmenteraient le taux de rencontre entre le

prédateur et la proie et par conséquent, le succès d'alimentation et la survie de la larve. Ware et Thomson (1991) ont trouvé une relation en forme de dôme entre les micro-turbulences, dues aux vents, et le succès de recrutement des sardines du Pacifique, au sud de la Californie. Ils ont conclu que la vitesse du vent, pour obtenir le succès de recrutement optimum, était de $7\text{-}8 \text{ m s}^{-1}$. Également, Sundby et Fossum (1990) ont détecté une augmentation significative dans le succès d'alimentation des larves de morue d'atlantique lorsque la vitesse du vent augmentait de $0,9\text{-}3,3$ à $5,2\text{-}6,6 \text{ m s}^{-1}$.

On a retrouvé en moyenne, 8 ind. L^{-1} (les quatre principales proies des éperlans) aux stations riveraines (en 1999) et pélagiques (en 1998 et 1999). En 1998, aux stations riveraines, une moyenne de 3 ind. L^{-1} ont été retrouvés. Or, les succès d'alimentation sont significativement plus élevés aux stations pélagiques que riveraines en 1998 et 1999. Ainsi, on peut supposer qu'aux stations pélagiques, il y ait plus souvent des micro-turbulences optimales permettant d'obtenir de meilleurs succès d'alimentation.

Heure

Les éperlans du lac Saint-Jean capturés de jour montrent un succès d'alimentation constant au cours de la journée avec une diminution vers 16:00 h et une reprise par la suite. Courtois et Dodson (1986) ont également observé une diminution, dans le coefficient du succès d'alimentation des larves d'éperlan du Saint-Laurent, à partir de 15:00 ou 16:00 h. Nos résultats sont plausibles puisque les larves d'éperlan se nourrissent durant le jour (Sirois et Dodson 2000a), tout comme les larves de sébaste (Anderson 1994), de thon (Young et Davis 1990) et de plusieurs autres espèces. D'autre part, les auteurs ayant

remarqué un modèle dans la nutrition diurne étudiaient des larves de poisson marin ou d'estuaire, comportant des marées (Dauvin et Dodson 1990, Anderson 1994, Sirois et Dodson 2000a (éperlans). Ainsi, dans ces systèmes, les fluctuations dans l'alimentation des larves de poisson sont régies non pas exclusivement par la luminosité, mais également par l'état de la marée (Courtois et Dodson 1986). Or, le lac Saint-Jean est un plan d'eau n'ayant aucune marée. La luminosité régirait donc exclusivement la nutrition des éperlans au lac Saint-Jean.

Le succès d'alimentation des juvéniles de notre étude, capturés de nuit, diminue significativement ($R^2 = 0,88$) en fonction de l'heure. Urban et Brandt (1993) ont également fait ce constat. La réduction de la consommation de zooplancton durant la nuit serait une évidence de la prédation visuelle (Urban et Brandt 1993).

Toutefois, pour mieux décrire l'influence de l'éclairement sur le succès d'alimentation des larves d'éperlan du lac Saint-Jean, un échantillonnage étalé sur une période de 24 heures serait nécessaire.

Température et date

La température peut avoir des impacts directs sur le succès d'alimentation (Anderson 1988), spécialement lorsque celle-ci avoisine le point de congélation du cytoplasme (Michaud 1996). Pour cette étude, nous n'avons constaté aucune relation entre le succès d'alimentation des éperlans arc-en-ciel et la température des eaux de surface.

Ceci peut s'expliquer par le fait que les températures observées ont varié entre 9 °C et 21 °C, loin du point de congélation.

On ne constate également aucune relation entre le succès d'alimentation et la date de capture des éperlans pour les deux années. Autour des mois de mai et juin, on observe un nuage de point aléatoire. Par contre, la distribution forme une ligne verticale au début des mois d'août et de septembre 1998 et en août 1999. Cela s'explique par le fait que les éperlans capturés aux mois d'août et de septembre l'ont été de nuit. Or, nous avons clairement démontré que durant la nuit il y avait une relation entre l'alimentation et l'heure. Les juvéniles capturés en début de soirée ont significativement un meilleur succès d'alimentation que ceux capturés vers la fin de la nuit.

Toutefois, le succès d'alimentation des éperlans a été calculé afin d'éliminer l'effet de la taille. Or, la taille est étroitement reliée à la température et à la date (Cushing 1975). Il n'est donc pas surprenant qu'il n'y est pas de relation entre le succès d'alimentation et la température et la date.

Limitation de l'alimentation en fonction du nombre de proies

La densité des organismes zooplanctoniques dans le milieu influence le succès d'alimentation des éperlans des stades C et D. En effet, nos analyses, à partir de la courbe d'Ivlev, nous montrent que la densité minimale de proies requise dans le milieu doit être de 3 ind. L⁻¹ pour les larves de stade C et de 2 ind. L⁻¹ pour les larves de stade D, afin de garantir un succès d'alimentation positif aux larves d'éperlan. Fortier et al. (1996) ont

également démontré une relation entre le succès d'alimentation des larves de morue arctique et la densité de leur proie (nauplii de copépodes) à l'aide de la courbe d'Ivlev. L'absence de relation entre le succès d'alimentation des larves du stade E et le nombre de nauplii et de *Cyclops scutifer* d'après la courbe d'Ivlev pourrait s'expliquer par le fait, qu'à ce stade, la larve a une meilleure capacité natatoire. Elle est donc moins dépendante de la densité de proies dans le milieu.

4.2.4.4 Succès d'alimentation combiné

On remarque, pour les stades C, D et E, une augmentation continue du succès d'alimentation. Les larves d'éperlan ont une meilleure capacité natatoire au fur et à mesure qu'elles se développent, ce qui leur procure une plus grande efficacité pour la capture des proies (Rosenthal et Hempel 1970). Le faible succès observé au stade F peut s'expliquer par un changement au niveau de la diète. Ces éperlans se nourrissent principalement de cyclops et de *Diaptomus minutus*. Ils ne consomment presque plus de nauplii, une proie beaucoup plus facile à capturer.

On observe également que les éperlans des stades C et D de 1998 ont connu significativement un meilleur succès d'alimentation que ceux de 1999. Ainsi, les larves en 1998 auraient eu une meilleure alimentation, donc un meilleur taux de survie. D'ailleurs, le nombre d'éperlans 0+ observés au mois d'août en 1998 (9,82 éperlans 1000 m^{-3}) a été plus important qu'en 1999 (6,6 éperlans 1000 m^{-3}) (Données non publiées, Michel Legault, FAPAQ). L'ensemble de ces résultats suggèrent un scénario conforme à l'hypothèse de «la Période critique» de Hjort (1914): les larves d'éperlan des stades C et D, lors du

commencement de leur alimentation exogène, avaient des densités de proies plus élevées dans leur environnement en 1998 par rapport à 1999. Elles se sont ainsi mieux alimentées, leur survie a été meilleure et le recrutement fut plus important. Finalement, soulignons que le succès d'alimentation a été calculé à partir du nombre de proies ingérées. Il aurait été intéressant de le calculer à partir du volume de proies ingérées, afin d'avoir une plus grande précision. Ainsi, une larve ayant ingéré une grosse proie aurait eu un meilleur succès d'alimentation qu'une larve ayant ingéré deux petites proies.

Le succès d'alimentation des éperlans du stade I est significativement plus élevé en 1999 qu'en 1998 et les éperlans du stade J en 1998 ont un succès encore plus faible. La moyenne des heures de capture des juvéniles peut expliquer en partie ce fait. Elle est de 00:15 h pour les stades I en 1998, de 22:32 h pour les stades I en 1999 et de 23:33 h pour les stades J en 1998. Or, nous avons démontré que les juvéniles capturés en début de soirée ont significativement un meilleur succès d'alimentation que ceux capturés vers la fin de la nuit.

CHAPITRE V

CONCLUSION

Les éperlans arc-en-ciel de l'année, du lac Saint-Jean, se nourrissent principalement de nauplii de copépode, des copépodes *Cyclops scutifer* et *Diaptomus minutus* et du cladocère *Bosmina longirostris*. Leur alimentation est influencée par la disponibilité des proies, la taille et l'espèce des proies, leur stade de développement et l'éclairement. La densité des organismes zooplanctoniques dans le milieu semble influencer la survie des éperlans de l'année, donc le recrutement.

On a observé pour les éperlans des stades de développement C et D, des incidences d'alimentation plus élevées en 1998 qu'en 1999. De plus, l'abondance larvaire, le succès d'alimentation et le recrutement ont été plus importants en 1998. Il semble donc que le passage des larves de la nutrition endogène à la nutrition exogène ait été plus difficile en 1999 qu'en 1998. Il se peut qu'il y ait eu une meilleure synchronisation entre le début de l'alimentation exogène des larves et l'abondance de leurs proies en 1998, comparativement à 1999. L'ensemble de ces résultats soutiennent l'hypothèse de «la Période critique». Également, on observe pour les deux années d'étude, un meilleur succès d'alimentation aux stations pélagiques qu'aux stations riveraines. Cela laisse croire que les conditions de nutrition sont plus favorables au large. On peut supposer qu'aux stations pélagiques, il y ait plus souvent des «micro-turbulences» optimales (augmentant le taux de rencontre), permettant aux éperlans de capturer plus facilement leurs proies.

La présente étude ainsi que celles de Lalancette (1984) et Desgagné (1999) ont décrit les communautés zooplanctoniques du lac Saint-Jean. Toutefois, il reste encore beaucoup de travail à faire afin d'obtenir un portrait complet de la dynamique des communautés zooplanctoniques du lac Saint-Jean et son influence sur les maillons trophiques supérieurs (poissons). De plus, il serait très intéressant dans le futur de mieux caractériser les proies des éperlans, c'est-à-dire de les mesurer et d'identifier les stades des nauplii et des copépodites de copépodes. Également, il serait important d'avoir des données sur l'alimentation des larves d'éperlan arc-en-ciel au mois de juillet. On pourrait alors faire un meilleur portrait de l'évolution de l'alimentation des éperlans au cours de leur première année.

RÉFÉRENCES

AUER, N.A. (et.), 1982. Identification of larval fishes of the great lakes basin with emphasis on the lake Michigan drainage. Great lakes fishery commision, Michigan, special publication, Ann Arbor, 82-3:744 p.

ANDERSON, J. T., 1988. A review of size dependant survival during pre-recruit stades of fishes in relation to recruitment. *J Northw Atl Fish Sci*, 8:55-66.

ANDERSON, J.T., 1994. Feeding ecology and condition of larval and pelagic juvenile redfish *Sebastes* spp.. *Mar Ecol Prog Ser*, 104:211-226.

BERNATCHEZ, L. et M. GIROUX, 1991. Guide des poissons d'eau douce du Québec et leur distribution dans l'Est du Canada. Éditions Broquet inc. Québec, 304 p.

BLAXTER, J.H.S. et M.E. STAINES, 1971. Food searching potentiel in marine fish larvae. 4th European marine biology symposium, D.J. Crisp edition, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 467-485.

BOUCHARD, L. et H. ROYER, 1997. Recherches de frayères à éperlans arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) dans le lac Saint-Jean en 1996. Rapport du Centre Ecologique du lac Saint-Jean inc., 59 p.

BRAUM, E., 1967. The survival of fish larvae with reference to their feeding behaviour and the food supply. The biological basis of freshwater production. Ed. by S.D. Gerking. John Wiley and Sons, New-York, 113-131.

BRAUM, E., 1978. Ecological aspect of the survival of fish eggs, embryos and larvae, pp. 102-131. Ecology of freshwaters fish production. Blackwell scientific publications, Londre. 520 p.

COOPER, J.E., 1978. Identification of eggs, larvae, and juveniles of the rainbow smelt, *Osmerus mordax*, with comparaisons to larval alewife, *Alosa pseudoharengus*, and gizzard shad, *Dorosoma cepedianum*. *Can J Fish Aquat Sci*, 107(1):56-62.

CÔTÉ, R., D. BUSSIÈRES et P. DESGAGNÉ, 2002. Distribution spatio-temporelle du phytoplancton et du zooplancton dans le lac Saint-Jean (Québec), un réservoir hydroélectrique. *R Sci Eau*, 15:605-622.

COURTOIS, R. et J.J. DODSON, 1986. Régime alimentaire et principaux facteurs influençant l'alimentation des larves de capelan (*Mallotus villosus*), d'éperlan (*Osmerus mordax*) et de hareng (*Clupea harengus harengus*) dans un estuaire partiellement mélangé. *Can J Fish Aquat Sci*, 43:968-979.

CRYER, M., G. PEIRSON et C.R. TOWNSEND, 1986. Reciprocal interactions between roach, *Rutilus rutilus*, zooplankton in a small lake: prey dynamics and fish growth and recruitment. *Limnol Oceanogr*, 31:1022-1038.

CURY, P. et C. ROY, 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Can J Fish Aquat Sci*, 46:670-680.

CUSHING, D.H., 1975. Marine ecology and fisheries. Cambridge University Press, Cambridge and New York, 278 p.

DABROWSKI, K., 1985. Can coregonid fish larvae feed under the ice? *Arch Hydrobiol*, 104:427-432.

DAUVIN, J.-C. et J.J. DODSON, 1990. Relationship between feeding incidence and vertical and longitudinal distribution of rainbow smelt larvae (*Osmerus mordax*) in a turbid well-mixed estuary. *Mar Ecol Prog Ser*, 60:1-12.

DELISLE, C. et C. VEILLEUX, 1969. Répartition géographique de l'éperlan arc-en-ciel *Osmerus eperlanus mordax* et de *Glugea hertwigi* (sporozoa: microsporidia) en eau douce, au Québec. *Naturaliste Can*, 96:337-358.

DESGAGNÉ, P. Aspect de la productivité primaire et secondaire d'un réservoir hydroélectrique québécois, le lac Saint-Jean. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, 1999, 111 p.

DeVRIES, D.R., M.T. BREMIGAN et R.A. STEIN, 1998. Prey selection by larval fishes as influenced by available zooplankton and gape limitation. *T Am Fish Soc*, 127:1040-1050.

DeVRIES, D.R. et R.A. STEIN, 1992. Complex interactions between fish and zooplankton: quantifying the role of an open-water planktivore. *Can J Fish Aquat Sci*, 49:1216-1227.

DOWER, J.F., T.J. MILLER et W.C. LEGGETT, 1997. The role of microscale turbulence in the feeding ecology of larval fish. *Adv Mar Biol*, 31:169-220.

DRENNER, R.W., J.R. STRICKLER et W.J. OBRIEN, 1978. Capture probability: the role of zooplankton escape in the selective feeding of planktivorous fish. *J Fisheries Res Board Can*, 35:1370-1373.

EVANS, M.S., 1985. Recent major declines in zooplankton populations in the inshore region of lake Michigan: probable causes and implications. *Can J Fish Aquat Sci*, 43:154-159.

FORTIER, L., M. GILBERT, D. PONTON, R.G. INGRAM, B. ROBINEAU et L. LEGENDRE, 1996. Impact of freshwater on a subarctic coastal ecosystem under seasonal sea ice (southeastern Hudson Bay, Canada). III. Feeding success of marine fish larvae, *J Mar Syst*, 7:251-265.

GILBERT, M., L. FORTIER, D. PONTON et R. DROLET, 1992. Feeding ecology of marine fish larvae across the Great Whale River plume in seasonally ice-covered southeastern Hudson Bay. *Mar Ecol Prog Ser*, 84:19-30.

GORDON, W.G., 1961. Food of the american smelt in Saginaw bay, lake Huron. *Can J Fish Aquat Sci*, 90:439-443.

HANSEN, M.J. et D.H. WAHL, 1981. Selection of small *Daphnia pulex* by yellow perch fry in Oneida Lake, New York. *T Am Fish Soc*, 110:64-71.

HAY, D.E., 1981. Effects of capture and fixation on gut contents and body size of pacific herring larvae. *Rapp P-V Reun Cons Int Explor Mer*, 178:395-400.

HEATH, M. et N. NICOLL, 1991. Infection of larval herring by helminth parasites in the North sea and the effect on feeding incidence. *Cont Shelf Res*, 11(12):1477-1489.

HENDERSON, B.A. et S.J. NEPSZY, 1989. Factors affecting recruitment and mortality rates of rainbow smelt (*Osmerus mordax*) in lake Erie, 1963-85. *J Great Lakes Res*, 15(2): 357-366.

HJORT, J., 1914. Fluctuations in the great fisheries of northern Europe reviewed in the light of biological research. *Rapp P-V Reun Cons Int Explor Mer*, 20:1-128.

HRABIK, T.R., M.P. CAREY et M.S. WEBSTER, 2001. Interactions between young-of-the-year exotic rainbow smelt and native yellow perch in a Northern temperate lake. *T Am Fish Soc*, 130:568-582.

HUNTER, J.R., 1972. Swimming and feeding behavior of larval anchovy, *Engraulis mordax*. *Fish Bull, U.S.*, 70:821-838.

IVLEV, V.S., 1961. Experimental ecology of the feeding of fishes. Yale university press, New Haven, 302 p.

JONES, H.G., M. LECLERC, M. OUELLET, L. POTVIN, P. COUTURE, D. CLUIS, W. SOCHANSKA et J. SOCHANSKI, 1979. Productivité biologique des eaux du lac Saint-Jean, INRS-eau, Université du Québec, Québec. Rapport scientifique no 76, 568 p.

JONES, H.G., G. MORIN, M. OUELLET, W. SOCHANSKA, et P. COUTURE, 1980. Étude physico-chimique et biologique des eaux du lac Saint-Jean: 1978. Rapport scientifique no.122. INRS-Eau, 350 p.

KEAST, A., 1980. Food and feeding relationships of young fish in the first weeks after the beginning of exogenous feeding in lake Opinicon, Ontario. *Environ Biol Fishes*, 5:305-314.

KIRCHEIS, F.W. et J.G. STANLEY, 1981. Theory and practice of forage-fish management in New England. *T Am Fish Soc*, 110:729-737.

LACHANCE, S., 1995. L'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*): facteurs influençant les populations et importance dans la communauté ichtyenne. Direction de la faune et des habitats, Ministère de l'environnement et de la faune, 35 p.

LALANCETTE, L.M., 1984. Effet du dragage sur les sédiments, le plancton et les poissons, dans la région de Vauvert au lac St-Jean, Québec. *Arch Hydrobiol*, 99(4):463-477.

LANTRY, B.F. et D.J. STEWART, 2000. Population dynamics of rainbow smelt (*Osmerus mordax*) in Lakes Ontario and Erie: a modeling analysis of cannibalism effects. *Can J Fish Aquat Sci*, 57:1594-1606.

LASKER, R., 1975. Field criteria for survival of anchovy larvae: the relation between inshore chlorophyll maximum layers and successful first feeding. *Fish Bull*, U.S., 73:453-462.

LASKER, R., 1978. The relation between oceanographic conditions and larval anchovy food in the California Current: identification of factors contributing to recruitment failure. *Rapp P-V Reun Cons Int Explor Mer*, 173:212-230.

LASKER, R., 1981. Marine fish larvae: morphology, ecology, and relation to fisheries. University of Washington press, Washington. 131 p.

LEGAULT, M. et H. GOUIN, 1985. La ouananiche: fierté du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Ministère du loisir, de la chasse et de la pêche, Direction régionale du Saguenay/Lac-Saint-Jean, Jonquière. 19 p.

LEGAULT, M., 1998. Élaboration d'une méthode d'évaluation de l'abondance relative de l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) du lac Saint-Jean. Ministère de l'environnement et de la faune. Direction de la faune et des habitats. 43 p.

MAHY, G., 1975. Étude comparée des régimes alimentaires de la ouananiche, du doré et du brochet. Centre de recherche du Moyen-Nord, contribution à la biologie de la ouananiche, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi. 143 p.

McCULLOUGH, R.D. et J.G. STANLEY, 1981. Feeding niche dimensions in larval rainbow smelt (*Osmerus mordax*). Rapp P-V Reun Cons Int Explor Mer, 178:352-354.

McKENZIE, R.A., 1964. Smelt life history and fishery in the Miramichi river, New-Brunswick. J Fisheries Res Board Can, Ottawa, 77p.

McKENZIE, B.R. et W.C. LEGGETT, 1991. Quantifying the contribution of small-scale turbulence to the encounter rates between larval fish and their zooplankton prey: effects of wind and tide. Mar Ecol Prog Ser, 73:149-160.

MEHNER, T. et R. THIEL, 1999. A review of predation impact by 0+ fish on zooplankton in fresh and brackish waters of the temperate northern hemisphere. Environ Biol Fishes, 56:169-181.

MICHAUD, J., L. FORTIER, P. ROWE et R. RAMSEIER, 1996. Feeding success and survivorship of Artic cod larvae, *Boreogadus saida*, in the Northeast Water polynya (Greenland Sea). Fish Oceanogr, 5(2):120-135.

MILLS, E.L. et J.I. FORNEY, 1983. Impact on *Daphnia pulex* of predation by young yellow perch in Oneida Lake, New York. T Am Fish Soc, 112:154-161.

MINCHELLA, D.J. et M.E. SCOTT, 1991. Parasitism: a cryptic determinant of animal community structure. Tree, 6(8):250-253.

MINER, J.G. et R.A. STEIN, 1993. Interactive influence of turbidity and light on larval Bluegill (*Lepomis macrochirus*) foraging. Can J Fish Aquat Sci, 50:781-788.

NADON, L. Régime alimentaire et croissance de la ouananiche (*Salmo salar* L.) du lac St-Jean. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, 1991, 97 p.

NAESJE, T.F., B. JONSSON, L. KLYVE et O.T. SANDLUND, 1987. Food and growth of age-0 smelts, *Osmerus eperlanus*, in a Norwegian fjord lake. J Fish Biol, 30:119-126.

PENNAK, R.W., 1978. Fresh-water invertebrates of the United States. Second edition . John Wiley and sons. New-York., 803 p.

PETERSON, W.T. et S.J. AUSUBEL, 1984. Diets and selective feeding by larvae of Atlantic mackerel *Scomber scombrus* on zooplankton. Mar Ecol Prog Ser, 17:65-75.

PIKE, G.H., 1984. Optimal foraging theory: a critical review. A Rev Ecol Syst, 15:523-575.

PONTON, D. et L. FORTIER, 1992. Vertical distribution and foraging of marine fish larvae under the ice cover of southeastern Hudson Bay. Mar Ecol Prog Ser, 81:215-227.

ROSENTHAL, H., 1967. Parasites in larvae of herring (*Clupea harengus*) fed with wild plankton. Mar Biol, 1:10-15.

ROSENTHAL, H. et G. HEMPEL, 1970. Experimental studies in feeding and food requirements of herring larvae (*Clupea harengus* L.). J.H. Steele editor, Marine food chains, University of California Press, Berkeley, p. 344-364.

ROTHSCHILD, B.J. et T.R. OSBORN, 1988. Small-scale turbulence and plankton contact rates. J Plankton Res, 10:465-474.

SCHERRER, B., 1984. Biostatistique. Gaëtan morin, Québec, 850 p.

SCOTT, W.B. et E.J. CROSMAN, 1974. Poissons d'eau douce du Canada , Ministre de l'environnement, Service des pêches et des sciences de la mer. Ottawa, Bulletin 184 F, 1026 p.

SIEFERT, R.E., 1972. First food of larval yellow perch, white sucker, bluegill, emerald shiner, and rainbow smelt. T Am Fish Soc, 101(2):219-225.

SIROIS, P., F. LECOMPTE et J.J. DODSON, 1998. An otolith-based back-calculation method to account for time-varying growth rate in rainbow smelt (*Osmerus mordax*) larvae. Can J Fish Aquat Sci, 55,12:2662-2671.

SIROIS, P. et J.J. DODSON, 2000a. Influence of turbidity, food density and parasites on the ingestion and growth of larval rainbow smelt *Osmerus mordax* in an estuarine turbidity maximum. Mar Ecol Prog Ser, 193:167-179.

SIROIS, P. et J.J. DODSON, 2000b. Critical periods and growth-dependent survival of larvae of an estuarine fish, the rainbow smelt *Osmerus mordax*. Mar Ecol Prog Ser, 203:233-245.

SUNDBY, S. et P. FOSSUM, 1990. Feeding condition of Arcto-Norwegian cod larvae compared with the Rothschild-Osborn theory on small scale turbulence and plankton contact rates. *J Plankton Res*, 12:1153-1162.

TIN, H.T. et D.J. JUDE, 1983. Distribution and growth of larval rainbow smelt in eastern Lake Michigan. *T Am Fish Soc*, 112:517-524.

TREMBLAY, G., 2001. Mortalité sélective des juvéniles d'éperlans arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) due à la prédation par la ouananiche (*Salmo salar*) au lac Saint-Jean. Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, 14 p.

URBAN, T.P. et S.B. BRANDT, 1993. Food and habitat partitioning between young-of-year alewives and rainbow smelt in southeastern Lake Ontario. *Environ Biol Fishes*, 36:359-372.

VanDENSEN, W.L.T., 1985. Feeding behaviour of major 0+ fish species in a shallow, eutrophic lake (Tjeukemeer, Netherlands). *Z angew Ichthyol*, 2:49-70.

WARD, H.B. et G.C. WHIPPLE, 1966. Fresh-water biology, Second edition. Edited by W.T. Edmondson. New-York, 1248 p.

WARE, D.M. et R.E. THOMSON, 1991. Link between long-term variability in upwelling and fish production in the northeast Pacific Ocean. *Can J Fish Aquat Sci*, 48:2296-2306.

WARSHAW, S.J., 1972. Effects of alewives (*Alosa pseudoharengus*) on the zooplankton of Lake Wononskopomuc, Connecticut. *Limnol Oceanogr*, 17(3):816-825.

WELKER, M.T., C.L. PIERCE et D.H. WAHL, 1994. Growth and survival of larval fishes: roles of competition and zooplankton abundance. *T Am Fish Soc*, 123:703-717.

WHITESIDE, M.C., 1988. 0+ fish as major factors affecting abundance patterns of littoral zooplankton. *Verh Internat Verein Limnol*, 23:1710-1714.

WONG, B. et F.J. WARD, 1972. Size selection of *Daphnia pulicaria* by yellow perch (*Perca flavescens*) fry in West Blue Lake, Manitoba. *J Fisheries Res Board Can*, 29:1761-1764.

YAMASHITA, K., 1979. Damages of red seabream (*Pagulus major*) larvae caused by the parasitism of larval digenetic trematode. *Fish pathology*, 14:39-42.

YOUNG, J.W. et T.L.O. DAVIS, 1990. Feeding ecology of larvae of southern bluefin, albacore and skipjack tunas (Pisces: Scombridae) in the eastern Indian Ocean. *Mar Ecol Prog Ser*, 61:17-29.

ZARET, T.M., 1980. *Predation and freshwater communities*. Yale University Press, New Haven, Connecticut.

ANNEXES

ANNEXE I

COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES DES TRAITS DE CHALUT EFFECTUÉS AUX
DIFFÉRENTES STATIONS PÉLAGIQUES EN 1998 ET 1999, AU SAINT-JEAN

Annexe 1: Coordonnées géographiques des traits de chalut effectués aux différentes stations pélagiques en 1998 et 1999, au Saint-Jean.

Station	Profondeur (mètre)	Départ		Arrivée	
11	8	N O	48° 35' 32" 71° 49' 45"	N O	48° 35' 32" 71° 49' 20"
12	14-16	N O	48° 30' 13" 71° 52' 12"	N O	48° 30' 02" 71° 51' 49"
21	27-36	N O	48° 38' 30" 71° 57' 26"	N O	48° 38' 18" 71° 57' 03"
22	42-46	N O	48° 33' 34" 71° 57' 06"	N O	48° 33' 24" 71° 56' 43"
23	46-55	N O	48° 29' 58" 71° 58' 20"	N O	48° 29' 49" 71° 58' 00"
31	16-20	N O	48° 41' 43" 72° 06' 54"	N O	48° 41' 26" 72° 06' 45"
32	15-19	N O	48° 35' 52" 72° 05' 57"	N O	48° 35' 39" 72° 05' 37"
33	8-10	N O	48° 31' 10" 72° 06' 10"	N O	48° 31' 03" 72° 05' 53"
41	2-3	N O	48° 40' 55" 72° 15' 04"	N O	48° 40' 42" 72° 14' 49"
42	26	N O	48° 36' 19" 72° 13' 43"	N O	48° 36' 06" 72° 13' 20"

ANNEXE 2

COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES DES TRAITS DE CHALUT EFFECTUÉS AUX
DIFFÉRENTES STATIONS RIVERAINES EN 1998, AU LAC SAINT-JEAN

Annexe 2: Coordonnées géographiques des traits de chalut effectués aux différentes stations riveraines en 1998, au lac Saint-Jean.

Station	Isobathe (mètre)	Départ	Arrivée
1	3	N 48° 25' 52" O 72° 02' 02"	N 48° 26' 06" O 72° 02' 29"
	5	N 48° 25' 55" O 72° 02' 02"	N 48° 26' 11" O 72° 02' 27"
2	3	N 48° 28' 33" O 72° 06' 30"	N 48° 28' 16" O 72° 06' 20"
	5	N 48° 28' 39" O 72° 05' 54"	N 48° 28' 25" O 72° 05' 43"
3	3	N 48° 26' 57" O 72° 09' 15"	N 48° 27' 01" O 72° 09' 50"
	5	N 48° 28' 01" O 72° 09' 26"	N 48° 28' 21" O 72° 09' 16"
4	3	N 48° 31' 25" O 72° 13' 02"	N 48° 31' 05" O 72° 12' 58"
	5	N 48° 31' 08" O 72° 12' 04"	N 48° 31' 28" O 72° 12' 13"
5	3	N 48° 34' 59" O 72° 13' 56"	N 48° 35' 06" O 72° 14' 22"
	5	N 48° 35' 25" O 72° 14' 17"	N 48° 35' 07" O 72° 14' 04"
6	2	N 48° 37' 17" O 72° 17' 48"	N 48° 37' 37" O 72° 17' 58"
	5	N 48° 37' 25" O 72° 14' 31"	N 48° 37' 39" O 72° 14' 11"
7	2	N 48° 44' 33" O 72° 10' 15"	N 48° 44' 42" O 72° 09' 42"
	3	N 48° 44' 19" O 72° 10' 08"	N 48° 44' 23" O 72° 09' 39"
8	5	N 48° 42' 46" O 72° 10' 03"	N 48° 42' 45" O 72° 09' 34"
	2	N 48° 42' 24" O 72° 02' 53"	N 48° 42' 10" O 72° 02' 29"
8	3	N 48° 42' 15" O 72° 03' 24"	N 48° 41' 58" O 72° 03' 00"
	5	N 48° 41' 22" O 72° 04' 55"	N 48° 41' 13" O 72° 04' 31"

ANNEXE 3

COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES DES TRAITS DE CHALUT EFFECTUÉS AUX
DIFFÉRENTES STATIONS RIVERAINES EN 1999, AU LAC SAINT-JEAN

Annexe 3: Coordonnées géographiques des traits de chalut effectués aux différentes stations riveraines en 1999, au lac Saint-Jean.

Station	Isobathe (mètre)	Départ	Arrivée
9	2	N 48°40'22" O 71°57'07"	N 48°40'22" O 71°56'43"
	3	N 48°40'15" O 71°57'14"	N 48°40'17" O 71°56'39"
10	2	N 48°40'33" O 71°52'38"	N 48°40'21" O 71°52'20"
	3	N 48°40'32" O 71°52'40"	N 48°40'17" O 71°52'22"
13	3	N 48°38'33" O 71°48'44"	N 48°38'16" O 71°48'28"
	5	N 48°38'30" O 71°49'21"	N 48°38'18" O 71°48'51"
14	3	N 48°33'42" O 71°48'14"	N 48°33'57" O 71°48'39"
	5	N 48°34'10" O 71°48'02"	N 48°34'12" O 71°48'29"
15	3	N 48°29'25" O 71°48'13"	N 48°29'03" O 71°48'29"
	5	N 48°29'44" O 71°48'13"	N 48°29'31" O 71°48'36"
16	3	N 48°22'22" O 71°51'43"	N 48°26'12" O 71°52'19"
	5	N 48°26'27" O 71°51'45"	N 48°26'14" O 71°52'20"
17	3	N 48°25'18" O 71°57'47"	N 48°25'17" O 71°57'12"
	5	N 48°25'18" O 71°57'43"	N 48°25'20" O 71°57'22"

ANNEXE 4

DONNÉES BRUTES DE LA COMPOSITION (%) DE LA DIÈTE DES ÉPERLANS
ARC-EN-CIEL, DE LA COMPOSITION (%) DU ZOOPLANCTON DANS LE MILIEU
ET DES STATISTIQUES DE NUTRITION EN FONCTION DES STADES DE
DÉVELOPPEMENT DES ÉPERLANS EN 1998, AU LAC SAINT-JEAN

Annexe 4: Données brutes de la composition (%) de la diète des éperlans arc-en-ciel, de la composition (%) du zooplancton dans le milieu et des statistiques de nutrition en fonction des stades de développement des éperlans en 1998, au lac Saint-Jean.
(TD, = tube digestif, M = milieu)

	Stades de développement															
	A		B		C		D		E		H		I		J	
	M	TD	M	TD	M	TD	M	TD	M	TD	M	TD	M	TD	M	TD
Protozoaires																
<i>Codonella crateras</i>	0,37		0,89	100	0,21	11,46	0,15	1,81	0,09	2,82					1,02	
Rotifères																
<i>Kellicottia longispina</i>		0,02													0,12	
<i>Keratella cochlearis</i>							1,04									
<i>Gastropus hyptopus</i>	0,17				0,44		0,28			0,11						
<i>Sinantherina socialis</i>	3,38		2,64		0,37	1,04	0,83			0,01						
Cladocères																
<i>Leptodora kindtii</i>													0,08	0,59	0,12	
<i>Polypodium pediculus</i>													0,89	0,03		
<i>Holopedium gibberum</i>	1,59		2,30		1,91		1,89		2,24		0,07	1,22	1,28	0,40	3,57	
<i>Daphnia</i> sp.	2,58		4,54		4,80		5,98		8,40		12,43	30,77	14,20	15,17	0,62	3,17
<i>Bosmina longirostris</i>	12,32		7,00		6,97		8,22		11,68		69,26		28,29	36,17	7,73	51,66
<i>Alona quadrangularis</i>													0,04			
Copépodes																
Nauplii de copépodes	15,43		18,96		18,23	27,08	14,27	22,62	13,20	33,80		0,66	0,83			
<i>Epischura lacustris</i>	0,18		0,09		0,26		0,26		0,22		0,14	23,08	0,47	3,20	0,32	5,71
<i>Limnocalanus macrurus</i>	0,12		0,19		0,16		0,24		0,26				0,04	0,06	0,12	
<i>Diaptomus minutus</i>	18,09		15,96		14,61	1,04	16,22		14,27	4,93	7,36		48,43	22,22	80,26	6,85
<i>Cyclops scutifer</i>	45,77		47,41		52,04	12,50	51,66	19,00	49,52	35,21	10,74	38,46	5,47	8,77	9,78	3,79
Chironomidés													0,07			
Copépodes non déterminés						7,29		23,53		12,68		7,69		11,60		24,90
Organismes non déterminés						38,55		33,04		10,56					0,08	
Nombre de TD analysé	91		34		229		279		89		1		80		57	
Nombre de TD, 1 proie et +	0		1		61		124		52		1		76		47	
% incidence d'alimentation	0		2,94		26,64		44,44		58,43		100		95,00		82,46	
Nombre total de proies	0		2		96		221		142		13		4 594		5 987	
Nombre moyen de proies	0		0,06		0,42		0,79		1,60		13		57,42		105,04	

ANNEXE 5

DONNÉES BRUTES DE LA COMPOSITION (%) DE LA DIÈTE DES ÉPERLANS
ARC-EN-CIEL, DE LA COMPOSITION (%) DU ZOOPLANCTON DANS LE MILIEU
ET DES STATISTIQUES DE NUTRITION EN FONCTION DES STADES DE
DÉVELOPPEMENT DES ÉPERLANS EN 1999, AU LAC SAINT-JEAN

Annexe 5: Données brutes de la composition (%) de la diète des éperlans arc-en-ciel, de la composition (%) du zooplancton dans le milieu et des statistiques de nutrition en fonction des stades de développement des éperlans en 1999, au lac Saint-Jean.
(TD, = tube digestif, M = milieu)

	Stades de développement														
	A		B		C		D		E		F		G		I
	M	TD	M	TD	M	TD	M	TD	M	TD	M	TD	M	TD	
Protozoaires															
<i>Codonella cratera</i>	84,01		70,61	50	50,44		11,70	1,35	2,65		0,23		0,09		
Rotifères															
<i>Kellicottia longispina</i>	4,69		6,16		7,99		18,54	1,80	15,88		11,00		11,90		0,47
<i>Keratella cochlearis</i>	0,12		0,06		0,13		0,04		0,07		0,10		0,09		
<i>Keratella tautocephala</i>	0,04		0,04		0,04		0,01		0,01						
<i>Gastropus hyptopus</i>									0,01		0,02		0,02		
<i>Sinantherina socialis</i>	0,32		0,53		0,50		7,81		8,40		5,08		4,11		
Cladocères															
<i>Leptodora kindtii</i>					0,03		0,05		0,06		0,08		0,11		0,44
<i>Polyphemus pediculus</i>											0,01		0,02		3,67
<i>Diaphanosoma brachyurum</i>													0,48		
<i>Holopedium gibberum</i>	0,34		0,36		0,92		1,23		1,55		1,95		2,32		0,48
<i>Daphnia</i> sp.	0,05		0,40		1,40		2,29		12,14		19,18		24,78		9,71
<i>Bosmina longirostris</i>	1,51		1,62	50	1,87		1,77		2,25		3,66		3,70		21,43
Copépodes															
Nauplii de copépodes	2,36		9,03		9,19	40,00	17,11	36,04	11,92	27,92	3,31	0,57	2,59		0,15
<i>Epischura lacustris</i>	0,04		0,04		0,20		0,78		0,89		1,52		2,29		0,41
<i>Limnocalanus macrurus</i>													1,43	10,05	2,05
<i>Diaptomus minutus</i>	3,44		4,65		14,40		17,44	0,45	19,45	3,30	22,12	12,00	17,93	26,79	56,97
<i>Cyclops scutifer</i>	3,08		6,50		12,89	60,00	21,23	39,19	24,72	50,49	31,74	74,14	30,91	60,28	7,22
Chironomidés															
Copépodes non déterminés									17,12		11,83		4,29		
Organismes non déterminés									4,05		6,46		1,71		0,48
Nombre de TD analysé	75		36		84		391		428		128		44		35
Nombre de TD, 1 proie et +	0		2		3		130		259		81		43		33
% incidence d'alimentation	0		5,56		3,57		33,25		60,51		63,28		97,73		94,28
Nombre total de proies	0		2		5		222		727		350		209		5 941
Nombre moyen de proies	0		0,06		0,06		0,57		1,70		2,73		4,75		169,74